

Lídia Carolina da Luz

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO SEGMENTO
MONITORADO DE ITAPOÁ**

Trabalho de conclusão de curso submetido ao Departamento de Engenharia Civil para a obtenção do Grau de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Glicério Trichês

Florianópolis

2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Luz, Lídia Carolina da
Avaliação do desempenho do segmento monitorado de Itapoá
/ Lídia Carolina da Luz ; orientador, Glicério Trichês -
Florianópolis, SC, 2015.
172 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.
Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. pavimentação. 3. desempenho funcional. 4. desempenho estrutural. 5. segmento monitorado. I. Trichês, Glicério. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Lídia Carolina da Luz

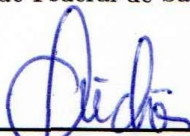
AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO SEGMENTO MONITORADO DE ITAPOÁ

Este Trabalho de conclusão de curso foi julgado aprovado para a obtenção do Título de “Engenheiro Civil”, e aprovado em sua forma final pelo Departamento de Engenharia Civil.

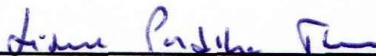
Florianópolis, 06 de julho 2015.

Prof. Dr. Luis Alberto Gómez
Coordenador do Curso de Graduação de Engenharia Civil
Universidade Federal de Santa Catarina

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Glicério Trichês
Orientador



Prof.ª Dr.ª Liseane Padilha Thives
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof.ª Dr.ª Luciana Rohde
Universidade Federal de Santa Catarina

Dedico este trabalho aos meus pais, João e Helena, à minha irmã, Débora, e ao meu noivo, Rodolfo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, pelo seu infinito amor, por ser meu guia e refúgio nos momentos de angústia e por renovar minhas forças diante de cada obstáculo.

Aos meus pais, João Manoel da Luz e Helena Richartz da Luz, pelo amor e incentivo, por acreditarem e investirem em mim e por não medirem esforços para que eu pudesse chegar a esta etapa.

A minha irmã, Débora Milena da Luz, por ser um exemplo pra mim.

Ao meu noivo, Rodolfo, pelo paciência e compreensão desde o cursinho pré-vestibular, pela ajuda no desenvolvimento deste trabalho e por ter compartilhado comigo muitos finais de semana de estudos.

A todos os familiares que me incentivaram e torceram por mim.

Ao meu orientador Prof. Dr. Glicério Trichês, pela orientação e pelos ensinamentos. Foi um período de “grande aprendizado”.

Aos amigos do curso de Engenharia Civil, Grazi, Filipe, Ingrid, Fernanda, Priscila, Felipe Carraro, Douglas, Alexandre, Matheus, Bruno, Felipe Rubert, Marcelo e Renato, pelo companheirismo, pela paciência e pelos momentos de estudo e descontração.

Aos amigos do Laboratório de Pavimentação da UFSC, Yan e Jonathan. Em especial as mestrandas Jaque e Sárvia, por disponibilizarem dados necessários para este trabalho, e ao mestrando Matheus, pela ajuda e críticas construtivas.

A todos os professores que fizeram parte da minha vida acadêmica, em especial às professoras Liseane e Luciana, por aceitarem o convite de fazer parte da banca examinadora.

À Universidade Federal de Santa Catarina pela formação acadêmica de excelente nível.

Enfim, a todos que de uma forma ou de outra fizeram parte desses 5 anos de graduação.

Muito obrigada!

“Nunca, jamais desanimeis, embora venham ventos contrários”
(Santa Paulina)

RESUMO

Nos últimos anos tem se observado que os métodos de dimensionamento de pavimentos vigentes no Brasil não atendem mais às solicitações de tráfego. Com o objetivo de desenvolver um novo método de dimensionamento de pavimentos, a Rede Temática de Tecnologia do Asfalto com o patrocínio da PETROBRAS, vem desenvolvendo um projeto onde busca-se conhecer melhor os materiais empregados e o desempenho dos pavimentos em alguns segmentos monitorados situados em diversas regiões do país. Neste contexto, a presente pesquisa tem como objetivo avaliar o desempenho a médio prazo do segmento monitorado de Itapoá em Santa Catarina. O trecho com 400 m de extensão está localizado na rodovia SC-416 e foi aberto ao tráfego em dezembro de 2011. Desde então, foram realizados diversos levantamentos a fim de acompanhar as condições funcionais e estruturais do pavimento. A partir da análise dos resultados foi verificado que quanto a irregularidade longitudinal e ao índice de gravidade global os resultados foram satisfatórios. Com relação a aderência pneu-pavimento constatou-se que os valores de microtextura foram aceitáveis, no entanto, devido aos baixos valores de macrotextura encontrados, o segmento monitorado não apresentou boas condições quando avaliados pelo *International Friction Index* (IFI). Da avaliação estrutural, observou-se que a espessura de revestimento executada não atende a solicitação do tráfego. Sendo assim, os resultados obtidos mostram a necessidade de um novo método de dimensionamento de pavimentos, para que os mesmos atendam ao tráfego atuante durante todo o período de projeto.

Palavras-chave: pavimentação. desempenho funcional. desempenho estrutural. segmento monitorado.

ABSTRACT

In the last years, it has been observed that the pavement methods design in Brazil are no longer satisfying the traffic requirements. From the objective to develop a new method of pavement design, the Rede Temática de Tecnologia do Asfalto, sponsored by PETROBRAS, developed a project that seeks for a better understanding of material's behaviour and pavement's performance in monitored segments situated in several regions of the country. In this context, this research aims to evaluate the medium-term performance of a monitored segment in Itapoá, Santa Catarina. This segment, with 400 meters in length, is located at the highway SC-416 and it was opened for traffic in December 2011. Ever since, many surveys were conducted in order to follow the functional and structural conditions of the pavement. From the analysis of the results, it was verified that both the longitudinal pavement roughness and the pavement condition index (IGG) were satisfactory. In relation to the adhesion between tyre and pavement, it was verified that the measurements of microtexture were acceptable. However, due to the low values of macrotexture, the monitored segment did not show good conditions when evaluated by the International Friction Index (IFI). In relation to rutting, it was found that the deflection has reached critical values. From the structural evaluation, it was observed that the surfacing thickness is not able to withstand the traffic demand. Therefore, the obtained results showed the need of a new method of designing pavements that is able to satisfy the traffic requirements during its entire design life.

Keywords: highways engineerig. functional performance. structural performance. monitored segment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Resposta mecânica de pavimentos flexíveis.....	33
Figura 2	Resposta mecânica de pavimentos rígidos.....	34
Figura 3	Níveis de serventia.....	35
Figura 4	Trinca isolada longitudinal - FC-1.....	38
Figura 5	Trinca tipo “Couro de Jacaré” - FC-2.....	39
Figura 6	Trinca tipo “Couro de Jacaré” - FC-3.....	39
Figura 7	Afundamentos.....	40
Figura 8	Outros defeitos.....	42
Figura 9	Micro e macrotextura na superfície de um revestimento asfáltico.....	43
Figura 10	Posicionamento da Viga Benkelman e da prova de carga	46
Figura 11	Representação da bacia deflectométrica com FWD.....	47
Figura 12	Representação esquemática do critério de ruína à fadiga	50
Figura 13	Localização do município de Itapoá.....	51
Figura 14	Trecho experimental de Itapoá.....	52
Figura 15	Estrutura do pavimento.....	52
Figura 16	Aspecto da camada final de terraplenagem.....	54
Figura 17	Aspecto da camada final de terraplenagem.....	54
Figura 18	Espalhamento da rocha detonada.....	55
Figura 19	Travamento da camada de rocha detonada.....	55
Figura 20	Informações sobre o material empregado na camada de sub-base.....	56
Figura 21	Informações sobre o material empregado na camada de base.....	57
Figura 22	Característica do traço da camada betuminosa - Borra-cha.....	58
Figura 23	Etapas do trabalho.....	61
Figura 24	Perfilômetro a Laser (COPPE/UFRJ).....	62
Figura 25	Posição e distância entre os sensores do perfilômetro...	63
Figura 26	Defeitos de superfície demarcados.....	64
Figura 27	Equipamento medidor de distância.....	65
Figura 28	Planilha de cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG)	66
Figura 29	Grip Tester (COPPE/UFRJ).....	68

Figura 30	Pêndulo Britânico	70
Figura 31	Esquema do ensaio de Mancha de Areia	71
Figura 32	Ensaio de mancha de areia no segmento de Itapoá	71
Figura 33	Barra metálica e régua	74
Figura 34	FWD utilizado no levantamento deflectométrico	77
Figura 35	Tela de abertura do programa de retroanálise BAKFAA	79
Figura 36	Exemplo de entrada de dados no BAKFAA	80
Figura 37	Exemplo de resultado de retroanálise com o BAKFAA	81
Figura 38	Exemplo de tela para entrada do sistema de camadas do pavimento.....	83
Figura 39	Exemplo de tela para entrada do carregamento aplicado	84
Figura 40	Exemplo de tela para entrada dos pontos de análise desejados.....	84
Figura 41	Exemplo de tela de saída de deformações específicas ...	85
Figura 42	Comparativo de Irregularidade Longitudinal	89
Figura 43	Índice de Irregularidade longitudinal do pavimento.....	90
Figura 44	Evolução das patologias Itapoá-Garuva	91
Figura 45	Evolução das patologias Garuva-Itapoá	92
Figura 46	Evolução das patologias - Total	92
Figura 47	Porcentagem de área trincada em relação a área da faixa Itapoá-Garuva	93
Figura 48	Porcentagem de área trincada em relação a área da faixa Garuva-Itapoá	93
Figura 49	Porcentagem de área trincada em relação a área da trilha de roda da faixa Itapoá-Garuva	94
Figura 50	Porcentagem de área trincada em relação a área da trilha de roda da faixa Garuva-Itapoá	94
Figura 51	Índice de Gravidade Global.....	95
Figura 52	Comparação dos valores de microtextura em 2014.....	96
Figura 53	Comparação dos valores de microtextura em 2015.....	97
Figura 54	Comparação dos valores de macrotextura em 2014	97
Figura 55	Comparação dos valores de macrotextura em 2015	98
Figura 56	Comparação dos valores de IFI (Itapoá-Garuva)	99
Figura 57	Comparação dos valores de IFI (Garuva-Itapoá)	100
Figura 58	Afundamento de Trilha de Roda Externa medido com	

Treliça Metálica (2012).....	100
Figura 59 Afundamento de trilha de Roda Externa medido com Perfilômetro Laser (2014)	101
Figura 60 Afundamento de trilha de Roda Interna medido com Perfilômetro Laser (2014).....	102
Figura 61 Afundamento de Trilha de Roda Externa medido com Treliça Metálica (2015).....	103
Figura 62 Comparativo de Afundamentos de Trilha de Roda Externa Itapoá-Garuva (2012, 2014 e 2015)	103
Figura 63 Comparativo de Afundamentos de Trilha de Roda Externa Garuva-Itapoá (2012, 2014 e 2015)	104
Figura 64 Comparativo de Deflexões (D0) na faixa Itapoá-Garuva	105
Figura 65 Comparativo de Deflexões (D0) na faixa Garuva-Itapoá	105
Figura 66 Erro Relativo faixa Itapoá-Garuva.....	107
Figura 67 Erro Relativo faixa Garuva-Itapoá.....	108
Figura 68 Vida à fadiga - Modelo de Araranguá.....	110
Figura 69 Vida à fadiga - Modelo de Urubici.....	111
Figura 70 Comparativo dos resultados de vida à fadiga - Modelo de Araranguá.....	112
Figura 71 Comparativo dos resultados de vida à fadiga - Modelo de Urubici	113
Figura 72 Estimativa de vida útil com as novas espessuras de revestimento	115
Figura 73 Planilha de cálculo do IGG da faixa Itapoá-Garuva - 2012	143
Figura 74 Planilha de cálculo do IGG da faixa Garuva-Itapoá - 2012	143
Figura 75 Planilha de cálculo do IGG da faixa Itapoá-Garuva - 2015	144
Figura 76 Planilha de cálculo do IGG da faixa Garuva-Itapoá - 2015	144

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Correlação entre FWD e Viga Benkelman	48
Tabela 2	Valores de espessuras recomendados pelo Caltrans (1992)	53
Tabela 3	Níveis de irregularidade	63
Tabela 4	Condições do pavimento em função do IGG.....	67
Tabela 5	Classes de microtextura pelo método do Pêndulo Britânico	70
Tabela 6	Classe de macrotextura pelo método da Mancha de Areia	72
Tabela 7	Valores de a e b para cálculo de S_p	73
Tabela 8	Relação de equipamentos calibrados pelos modelos da PIARC	75
Tabela 9	Faixas limites de valores de IFI (F_{60}).....	76
Tabela 10	Erro admissível.....	82
Tabela 11	Fatores de Equivalência de Veículo (F_i) - Método USACE	86
Tabela 12	Caracterização da mistura dos segmentos	86
Tabela 13	Faixa de trabalho	87
Tabela 14	Dados de entrada	106
Tabela 15	Resultado da retroanálise.....	106
Tabela 16	$N_{8,2\text{ tf}}$	108
Tabela 17	$N_{8,2\text{ tf}}$ atual	109
Tabela 18	Resultados de deformação de tração ELSYM5	109
Tabela 19	Resultados de vida à fadiga.....	110
Tabela 20	Resultados de deformação de tração para as três alternativas propostas - ELSYM5	111
Tabela 21	Resultados de vida à fadiga para três alternativas propostas.....	112
Tabela 22	Estimativa de vida útil pelo modelo de Araranguá.....	114
Tabela 23	Estimativa de vida útil pelo modelo de Urubici	114
Tabela 24	Irregularidade longitudinal faixa Itapoá-Garuva - 2014	127
Tabela 25	Irregularidade longitudinal faixa Garuva-Itapoá - 2014	128
Tabela 26	Levantamento de patologias faixa Itapoá-Garuva - 2012.....	131
Tabela 27	Levantamento de patologias faixa Garuva-Itapoá - 2012.....	132
Tabela 28	Levantamento de patologias faixa Itapoá-Garuva - 2015.....	133
Tabela 29	Levantamento de patologias faixa Itapoá-Garuva - 2015 (continuação)	134

Tabela 30 Levantamento de patologias faixa Garuva-Itapoá - 2015	135
Tabela 31 Levantamento de patologias faixa Garuva-Itapoá - 2015 (continuação)	136
Tabela 32 Levantamento de patologias faixa Garuva-Itapoá - 2015 (continuação)	137
Tabela 33 Levantamento de patologias faixa Garuva-Itapoá - 2015 (continuação)	138
Tabela 34 Levantamento de patologias faixa Garuva-Itapoá - 2015 (continuação)	139
Tabela 35 Microtextura - 2014	147
Tabela 36 Microtextura faixa Itapoá-Garuva - 2015	148
Tabela 37 Microtextura faixa Garuva-Itapoá - 2015	148
Tabela 38 Macrotextura faixa Itapoá-Garuva - 2014.....	148
Tabela 39 Macrotextura faixa Garuva-Itapoá - 2014.....	149
Tabela 40 Microtextura faixa Itapoá-Garuva - 2015	149
Tabela 41 Macrotextura faixa Garuva-Itapoá - 2015.....	149
Tabela 42 IFI faixa Itapoá-Garuva - 2014	150
Tabela 43 IFI faixa Garuva-Itapoá - 2014	150
Tabela 44 IFI faixa Itapoá-Garuva - 2015	150
Tabela 45 IFI faixa Garuva-Itapoá - 2015	151
Tabela 46 Afundamento de trilha de roda externa - 2012	155
Tabela 47 Afundamento de trilha de roda interna e externa - 2014	156
Tabela 48 Afundamento de trilha de roda externa - 2015	157
Tabela 49 Levantamento deflectométrico com Viga Benkelman - 2011	161
Tabela 50 Levantamento deflectométrico faixa Itapoá-Garuva - 2014	162
Tabela 51 Levantamento deflectométrico faixa Garuva-Itapoá - 2014	163
Tabela 52 Evolução do tráfego ao longo dos anos.....	167
Tabela 53 Resultados da retroanálise faixa Garuva-Itapoá.....	171
Tabela 54 Resultados da retroanálise faixa Itapoá-Garuva.....	172

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes	33
VSA	Valor de Serventia Atual	35
QI	Quociente de Irregularidade	36
IRI	International Roughness Index	36
DEINFRA	Departamento Estadual de Infraestrutura	56
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes	56
CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado a Quente	56
GN	Grip Number	69
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil	69
VRD	Valor de Resistência à Derrapagem	69
HS	Altura média da mancha de areia	72
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia	77
ELSYM5	Elastic Layered System	82
N	Número de Repetições do Eixo Padrão de 8,2 tf	85
SOTEPA	Sociedade Técnica de Estudos, Projetos e Assessoria Ltda	85
DER	Departamento de Estradas de Rodagem	85
USACE	United State Army Corp of Engineers	86
ARTESP	Agência Reguladora de Transporte do Estado de São Paulo	90

LISTA DE SÍMBOLOS

ε_t	Deformação específica de tração no fundo da camada de revestimento.....	82
-----------------	---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	29
1.1	OBJETIVOS	30
1.1.1	Objetivo Geral	30
1.1.2	Objetivos Específicos	30
1.2	CONTEÚDO E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	30
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	33
2.1	PAVIMENTO	33
2.2	AVALIAÇÃO DO ESTADO DOS PAVIMENTOS	34
2.2.1	Avaliação Funcional do Pavimento	34
2.2.1.1	Serventia	35
2.2.1.2	Irregularidade Longitudinal	36
2.2.1.3	Defeitos de Superfície	36
2.2.1.3.1	Fenda (F)	37
2.2.1.3.2	Afundamento	39
2.2.1.3.3	Ondulação ou Corrugação (O)	40
2.2.1.3.4	Escorregamento (E)	40
2.2.1.3.5	Exsudação (EX)	41
2.2.1.3.6	Desgaste (D)	41
2.2.1.3.7	Panela ou Buraco (P)	41
2.2.1.3.8	Remendo (R)	41
2.2.1.4	Avaliação objetiva de superfície pela determinação do IGG	41
2.2.1.5	Avaliação de aderência pneu-pavimento	42
2.2.2	Avaliação Estrutural do Pavimento	44
2.2.2.1	Método de Avaliação Estrutural não-destrutivo	45
2.2.2.1.1	Viga Benkelman	45
2.2.2.1.2	<i>Falling Weight Deflectometer</i> (FWD)	46
2.2.2.1.3	Correlação entre deflexões medidas com FWD e Viga Benkelman	47
2.2.2.2	Retroanálise	48
2.2.2.3	Critério de ruína à fadiga	49
3	CARACTERIZAÇÃO DO SEGMENTO	51
3.1	LOCALIZAÇÃO	51
3.2	DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO	52
3.3	PROCESSO CONSTRUTIVO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EMPREGADOS	53
3.3.1	Sub-base	53
3.3.2	Base	56

3.3.3	Mistura Asfáltica	56
3.4	CONTROLE DEFLECTOMÉTRICO	59
4	MÉTODO DO TRABALHO	61
4.1	ETAPA 1 - AVALIAÇÃO TEMPORAL DO ESTADO FUNCIONAL DO PAVIMENTO	61
4.1.1	Irregularidade longitudinal	62
4.1.2	Levantamento de defeitos de superfície	63
4.1.2.1	Cálculo do IGG	65
4.1.3	Aderência pneu-pavimento	68
4.1.3.1	Grip Tester	68
4.1.3.2	Pêndulo Britânico	69
4.1.3.3	Mancha de Areia	70
4.1.3.4	Cálculo do IFI	72
4.1.4	Afundamento de trilha de roda	74
4.2	ETAPA 2 - AVALIAÇÃO TEMPORAL DA CONDIÇÃO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO	76
4.2.1	Levantamentos Deflectométricos	76
4.2.2	Evolução das deflexões D0	78
4.2.3	Retroanálise das bacias deflectométricas	78
4.3	ETAPA 3 - ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL	81
4.3.1	Programa ELSYM5	82
4.3.1.1	Cálculo do número “N”	85
4.3.1.2	Estimativa da vida útil	86
5	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS	89
5.1	AVALIAÇÃO TEMPORAL DO ESTADO FUNCIONAL DO PAVIMENTO	89
5.1.1	Avaliação da Irregularidade Longitudinal	89
5.1.2	Avaliação da evolução temporal de patologias no pavimento	90
5.1.3	Avaliação objetiva de superfície pela determinação do IGG	94
5.1.4	Avaliação da Aderência Pneu-Pavimento	95
5.1.4.1	Avaliação quanto à microtextura	95
5.1.4.2	Avaliação quanto à macrotextura	96
5.1.4.3	Avaliação quanto ao IFI	98
5.1.5	Avaliação de Afundamento de trilha de roda	99
5.2	AVALIAÇÃO TEMPORAL DA CONDIÇÃO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO	104
5.2.1	Evolução de deflexões	104
5.2.1.1	Retroanálise	106

5.3	ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL	107
5.4	ESTRUTURA NECESSÁRIA PARA ATENDER AO N DE PROJETO	110
6	CONCLUSÃO	117
6.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS ..	119
	REFERÊNCIAS	121
	ANEXO A – Irregularidade Longitudinal	127
	ANEXO B – Levantamento de Patologias	131
	ANEXO C – Índice de Gravidade Global	143
	ANEXO D – Aderência Pneu-Pavimento	147
	ANEXO E – Afundamento de Trilha de Roda	155
	ANEXO F – Levantamento Deflectométrico	161
	ANEXO G – Estudo de Tráfego	167
	ANEXO H – Retroanálise	171

1 INTRODUÇÃO

No setor de transporte brasileiro o modal rodoviário é responsável por mais de 90% dos deslocamentos de passageiros e por cerca de 60% do transporte de carga. Apesar da sua predominância na matriz de transportes, dos 1.691.522 km de rodovias apenas 12% da malha é pavimentada (CNT, 2014).

A opção pelo modal rodoviário como principal meio de transporte foi impulsionada na década de 1940 com a criação do Fundo Rodoviário Nacional (FRN), que permitiu a construção de grande parte da malha rodoviária do país. No entanto, os mesmos investimentos não foram empregados em atividades de conservação, manutenção e recuperação, situação que ocasionou uma redução da qualidade da malha rodoviária nacional.

A má qualidade das rodovias além de gerar desconforto e insegurança ao usuário provoca um processo considerado por Bartholomeu (2006) como “anti-economia”, ou seja, deixa-se de investir na melhoria das condições da rodovia no momento adequado e acaba gastando a mais com obras de reconstrução e, além disso, gera custos adicionais para os usuários das vias.

Aliado a falta de investimentos tem-se um método de dimensionamento de pavimentos ultrapassado, que não contempla os conhecimentos modernos da mecânica dos pavimentos. Desta forma, muitas estruturas dimensionadas pelo atual método de dimensionamento de pavimentos flexíveis não tem atingido a vida útil de projeto.

Neste cenário, em 2009, a PETROBRAS iniciou o projeto Rede Temática de Tecnologia do Asfalto visando o desenvolvimento de um novo método de dimensionamento de pavimentos. Durante a primeira fase do projeto, intitulada “Trechos Experimentais e Materiais de Pavimentação”, acompanhou-se a construção dos trechos que seriam avaliados e desenvolveu-se um banco de dados com os materiais e tecnologias empregadas (MATTOS, 2014). Na Fase II, atual fase do projeto, o desempenho funcional e estrutural dos segmentos monitorados estão sendo avaliados.

No estado de Santa Catarina foram executados 7 segmentos experimentais, que estão sendo monitorados pelo Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Um desses trechos, corresponde ao segmento de Itapoá cujo desempenho será avaliado neste Trabalho de Conclusão de Curso.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo geral avaliar o desempenho a médio prazo do Segmento Monitorado de Itapoá/SC, através da análise dos resultados obtidos em levantamentos realizados em 2011, 2012, 2014 e 2015.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral deste trabalho seja alcançado foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Analisar e classificar a irregularidade longitudinal;
- Analisar e classificar a superfície do pavimento através do Índice de Gravidade Individual (IGG);
- Analisar a evolução das patologias levantadas na superfície do revestimento.
- Analisar e classificar a aderência pneu-pavimento através da macrotextura, microtextura e da combinação das duas pelo *International Friction Index* (IFI);
- Analisar a evolução do afundamento de trilha de roda;
- Analisar a evolução das deflexões D0;
- Obter os módulos de resiliência de cada camada do pavimento através do software BAKFAA.
- Estimar a vida útil do segmento a partir dos modelos de fadiga desenvolvidos para os segmentos monitorados de Araranguá e Urubici.

1.2 CONTEÚDO E ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Para que o objetivo seja alcançado, o presente trabalho foi estruturado da seguinte forma:

Capítulo 1 - Introdução

No primeiro capítulo, apresenta-se uma justificativa e os objetivos gerais e específicos que irão orientar a elaboração deste trabalho. Além disso, será apresentado a estrutura e organização do mesmo.

Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica

O segundo capítulo apresenta uma revisão sobre os temas avaliação funcional e estrutural, abordando assuntos como serventia, irregularidade longitudinal, defeitos em pavimentos flexíveis, aderência pneu-pavimento, levantamento deflectométrico, retroanálise e estimativa de vida útil.

Capítulo 3 - Caracterização do Segmento

No terceiro capítulo descreve-se a localização do segmento monitorado, a estrutura do pavimento, bem como, os materiais empregados em cada camada. Além disso, apresenta-se o controle deflectométrico realizado durante a construção do segmento.

Capítulo 4 - Método do Trabalho

No quarto capítulo são descritos detalhadamente os levantamentos realizados durante o monitoramento, os métodos e equipamentos necessários na obtenção dos dados em campo e os *softwares* utilizados para a estimativa da vida útil.

Capítulo 5 - Resultados e Discussões

No quinto capítulo são apresentados, interpretados e discutidos os resultados obtidos nos procedimentos mostrados no capítulo anterior.

Capítulo 6 - Conclusão

O sexto capítulo sintetiza os resultados obtidos ao final da pesquisa.

Por fim, são listadas as bibliografias consultadas durante a elaboração deste trabalho e os anexos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PAVIMENTO

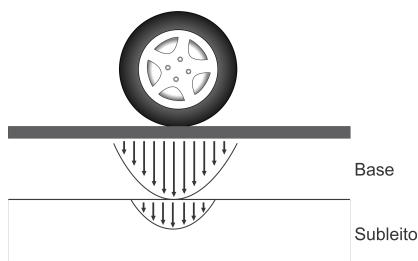
Segundo Brasil (2006a), o pavimento é uma superestrutura composta por um sistema de camadas de espessura finitas, construída sobre uma superfície considerada teoricamente infinita, a qual é denominada subleito.

A principal função de um pavimento é proporcionar uma superfície de rolamento que permita um tráfego confortável e seguro, com estrutura e materiais capazes de resistir a ação do tráfego e do clima a um mínimo custo (BALBO, 2007).

O Manual de Pavimentação (BRASIL, 2006a) do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) classifica os pavimentos em flexíveis, semirrígidos e rígidos. Estes se diferenciam pela sua estrutura e pela forma com que cada qual distribui no subleito os esforços sobre si aplicados.

Os pavimentos flexíveis são formados, basicamente, por quatro camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito (BERNUCCI et al., 2008). Neste tipo de pavimento, as tensões geradas na estrutura agem de forma muito concentrada próximas ao ponto de aplicação do carregamento, conforme visto na Figura 1 (BALBO, 2007).

Figura 1 – Resposta mecânica de pavimentos flexíveis

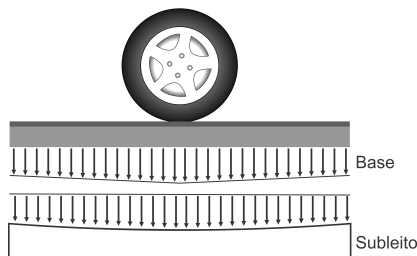


Fonte: Adaptado de Balbo (2007)

Os pavimentos rígidos são revestidos por uma placa de concreto de cimento Portland, sendo que esta placa podem ser armadas ou não com barras de aço (BERNUCCI et al., 2008). De acordo com Balbo

(2007), a atuação de uma dada carga sobre essa estrutura gera um campo de tensões bem distribuídos sob a placa, diminuindo a magnitude dos esforços verticais sobre o subleito, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Resposta mecânica de pavimentos rígidos



Fonte: Adaptado de Balbo (2007)

Os pavimentos semirrígidos são compostos por uma camada de revestimento asfáltico com base ou sub-base em material tratado com cimento de elevada rigidez (BALBO, 2007). Esse tipo de pavimento apresenta comportamento comum aos dois tipos citados anteriormente.

2.2 AVALIAÇÃO DO ESTADO DOS PAVIMENTOS

A avaliação dos pavimentos consiste em um conjunto de atividades com a finalidade de coletar informações que possibilitem determinar o atual estado de conservação do pavimento em termos de capacidade de manter a integridade estrutural e a qualidade de rolamento. Essas informações são utilizadas para definir o desempenho do pavimento e, caso seja necessário, planejar as medidas corretivas (HAAS et al., 1994 apud NÓBREGA, 2003).

A avaliação do pavimento pode ser dividida basicamente em dois tipos: avaliação funcional e avaliação estrutural.

2.2.1 Avaliação Funcional do Pavimento

Os pavimentos rodoviários estão sujeitos à ação do tráfego e das intempéries, sendo que estes dois fatores provocam diversos tipos de degradações no pavimento (FREITAS, 2012). Nesse sentido, a avaliação

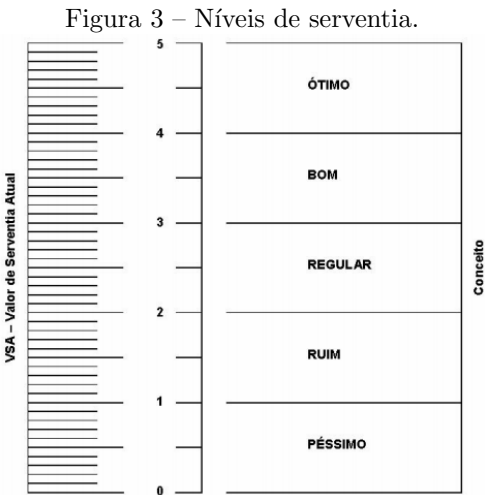
funcional visa caracterizar o desempenho do pavimento em termos de conforto e segurança oferecidos ao usuário, através da identificação e quantificação dos problemas superficiais (SILVA, 2006).

2.2.1.1 Serventia

De acordo com a Norma DNIT 009/2003 - PRO (BRASIL, 2003c), a serventia é a capacidade que um pavimento tem de proporcionar ao usuário, uma superfície de rolamento suave e confortável em determinado momento, para quaisquer condições de tráfego.

Para mensurar a serventia do pavimento é realizada uma avaliação subjetiva, onde se determina o valor de serventia atual (VSA). Segundo Brasil (2003c), o VSA é uma atribuição numérica compreendida em uma escala de 0 a 5, dada pela média de notas de um grupo de avaliadores que percorrem o trecho analisando as condições quanto ao conforto ao rolamento em um certo momento da vida do pavimento.

Conforme apresentado na Figura 3, a Norma DNIT 009/2003 - PRO possui uma escala que engloba os cinco níveis de serventia.



Fonte: Brasil (2003c)

Um pavimento bem executado apresentará um VSA elevado logo após a construção, em virtude das poucas irregularidades presentes na superfície. Porém, ao longo do tempo esse índice sofre redução devido

ao tráfego e as intempéries (BERNUCCI et al., 2008).

Bernucci et al. (2008) afirmam, que o momento de intervenção para manutenção de um pavimento pode ser determinado através do valor de serventia atual. Quando esse índice atinge o limite de aceitabilidade, ou seja, nota 2,5 para vias de alto volume de tráfego e 2,0 para as demais, uma intervenção de manutenção corretiva deve ser realizada de modo a aumentar o índice. Caso não ocorra manutenção ou esta for realizada de forma inadequada, o VSA poderá atingir o limite de trafegabilidade, ou seja, nota 1,0, neste caso será necessária a reconstrução do pavimento.

2.2.1.2 Irregularidade Longitudinal

O Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (BRASIL, 2006b) define a irregularidade longitudinal como “o conjunto dos desvios da superfície do pavimento em relação a um plano de referência, [...] que afetam a qualidade do rolamento e a ação dinâmica das cargas sobre a via”. A irregularidade é uma grandeza física que pode ser medida diretamente através de equipamentos topográficos e equipamentos medidores do perfil longitudinal (com ou sem contato) ou indiretamente por meio de equipamentos do tipo “resposta” (BERNUCCI et al., 2008).

No Brasil, existem duas escalas de medição da irregularidade, o “Quociente de Irregularidade” (QI) expresso em contagem/km e o “*International Roughness Index*” (IRI) expresso em m/km. Esses dois conceitos podem ser relacionados por meio da equação 2.1 (BRASIL, 2006b).

$$QI = 13 * IRI \quad (2.1)$$

Onde:

QI = Quociente de irregularidade;
IRI = International Roughness Index.

2.2.1.3 Defeitos de Superfície

“Os defeitos de superfície são os danos ou deteriorações na superfície dos pavimentos asfálticos que podem ser identificados a olho nu e classificados segundo uma terminologia normatizada” (BERNUCCI et al., 2008).

Para analisar o estado de conservação dos pavimentos asfálticos e obter um diagnóstico da situação funcional, é realizado o levantamento das patologias, cuja terminologia adotada pelo DNIT na Norma DNIT 005/2003 - TER será apresentada a seguir.

2.2.1.3.1 Fenda (F)

A fenda é definida como qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, podendo se apresentar em forma de fissuras ou trincas.

Fissura

A fissura corresponde a fenda de largura capilar que ocorre no revestimento nas direções longitudinal, transversal ou oblíqua ao eixo da via, sendo apenas visíveis à distância inferior a 1,50 metros.

Trinca

A trinca é a fenda existente no revestimento, com a largura superior à da fissura e facilmente perceptíveis a olho nu. Ela pode ser classificada quanto a gravidade e quanto a forma.

Quanto a gravidade, as trincas são definidas como:

- Classe 1 (FC-1): são trincas com abertura superior à das fissuras e inferior a 1,0 mm;
- Classe 2 (FC-2): são trincas com abertura superior a 1,0 mm;
- Classe 3 (FC-3): são trincas com abertura superior a 1,0 mm e degradação ou erosão junto às bordas.

Quanto a forma, as trincas são classificadas como:

- Trinca Isolada
 - Trinca transversal: são aquelas que apresentam direção predominantemente transversal ao sentido do tráfego. Essas trincas são denominadas trincas transversais curtas (TTC) quando apresentam comprimento igual ou inferior a 1,0 m, ou trincas transversais longas (TTL) quando seu comprimento for superior a 1,0 m.

- Trinca longitudinal: são aquelas que apresentam direção predominantemente paralela ao sentido do tráfego. Essas trincas são denominadas trincas longitudinais curtas (TLC) quando apresentam comprimento igual ou inferior a 1,0 m, ou trincas longitudinais longas (TLL) quando seu comprimento for superior a 1,0 m.
- Trinca de retração (TRR): são aquelas originadas devido aos fenômenos de retração térmica do material do revestimento ou do material de base rígida ou semirrígida subjacentes ao revestimento trincado.
- Trinca Interligada
 - Trinca tipo “Couro de Jacaré”: é o conjunto de trincas interligadas que não seguem uma regularidade geométrica, assemelhando-se ao aspecto de couro de jacaré. Bernucci et al. (2008) associa J as trincas tipo couro de jacaré que não apresentam erosão junto às suas bordas e JE as trincas tipo couro de jacaré que apresentam erosão junto às suas bordas.
 - Trinca tipo “Bloco”: é o conjunto de trincas interligadas que tendem a uma regularidade geométrica, e se caracterizam por ter uma configuração aproximada de um retângulo. Bernucci et al. (2008) associa TB quando as trincas não apresentam erosão junto às suas bordas e TBE quando apresentam erosão nas bordas.

As Figuras 4, 5 e 6 apresentam alguns exemplos de trincas.

Figura 4 – Trinca isolada longitudinal - FC-1



Fonte: Laboratório de Pavimentação UFSC

Figura 5 – Trinca tipo “Couro de Jacaré” - FC-2



Fonte: Laboratório de Pavimentação UFSC

Figura 6 – Trinca tipo “Couro de Jacaré” - FC-3



Fonte: Laboratório de Pavimentação UFSC

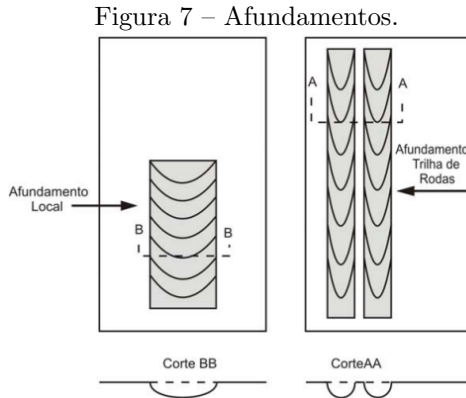
2.2.1.3.2 Afundamento

Os afundamentos são deformações permanentes que se caracterizam por depressões longitudinais da superfície do pavimento, acompanhada, ou não, de solevamento, podendo se manifestar na forma de afundamento plástico ou de consolidação.

- Afundamento plástico: é causado devido a deformação plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, acompanhada de solevamento. Quando sua extensão for de até 6,0 m é denominado afundamento plástico local (ALP); quando a extensão for maior e estiver ao longo da trilha de roda é denominado afundamento plástico da trilha de roda (ATP).

- Afundamento de consolidação: é causado pela densificação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito sem estar acompanhado de solevamento. É denominado afundamento de consolidação local (ALC) quando a extensão for igual ou inferior a 6,0 m, e afundamento de consolidação da trilha de roda (ATC) quando a extensão for maior e ao longo da trilha de roda.

Na Figura 7, verifica-se uma representação esquemática dos afundamentos.



Fonte: Brasil (2003a)

2.2.1.3.3 Ondulação ou Corrugação (O)

As ondulações ou corrugações são deformações caracterizadas por ondulações transversais ao eixo da via (depressões intercaladas de elevações). Segundo Bernucci et al. (2008), esses defeitos se diferenciam pelo comprimento de onda entre duas cristas. No caso da corrugação o comprimento de onda é de alguns centímetros ou dezena de centímetros, já na ondulação o comprimento de onda é da ordem de metros.

2.2.1.3.4 Escorregamento (E)

O escorregamento é definido como o deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, com aparecimento de fendas em forma de meia-lua.

2.2.1.3.5 *Exsudação (EX)*

A exsudação se caracteriza pelo excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento, causando manchas escurecidas.

2.2.1.3.6 *Desgaste (D)*

O desgaste decorre do desprendimento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento.

2.2.1.3.7 *Panela ou Buraco (P)*

A panela ou buraco corresponde a cavidade que se forma no revestimento, podendo ou não atingir camadas subjacentes, provocando a desagregação dessas camadas.

2.2.1.3.8 *Remendo (R)*

Remendo é o preenchimento de panelas de uma ou mais camadas do pavimento na operação denominada de “tapa-buraco”.

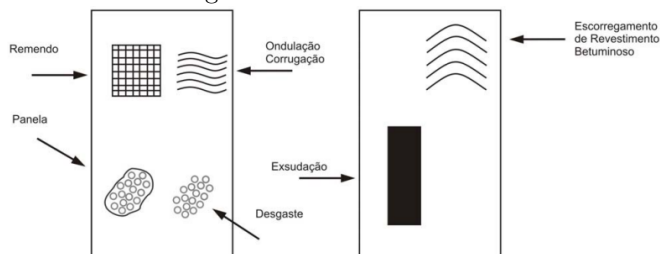
- Remendo profundo: geralmente apresenta forma retangular, e é caracterizado pela substituição do revestimento de uma ou mais camadas inferiores do pavimento, se necessário.
- Remendo superficial: é aquele em que ocorre a aplicação de uma camada betuminosa em uma determinada área da superfície do revestimento.

Defeitos como remendo, panela, desgaste, ondulação ou corrugação, exsudação e escorregamento são exibidos no esquema ilustrativo apresentado na Figura 8.

2.2.1.4 Avaliação objetiva de superfície pela determinação do IGG

O Índice de Gravidade Global (IGG) é um indicador de qualidade da superfície do pavimento, calculado a partir das informações coletas no levantamento dos defeitos de superfície (BERNUCCI et al., 2008).

Figura 8 – Outros defeitos



Fonte: Brasil (2003a)

De acordo com os procedimentos da Norma DNIT 006/2003 - PRO, o inventário de defeitos é realizado por amostragem através do caminhamento pelas estações de ensaio implantadas. Durante o levantamento também devem ser medidas as flechas nas trilhas de roda interna e externa com auxílio de uma treliça metálica com precisão de 0,5 mm.

As estações são delimitadas por uma área com 6 m de extensão, sendo 3 m antes e 3 m após cada estação, e largura igual a da faixa avaliada. As estações localizam-se a cada 20 m, alternados em relação ao eixo da pista, nas rodovias de pista simples e a cada 20 m, na faixa mais solicitada de cada pista, nas rodovias de pista dupla. Desta forma, a área abrangida pela análise é de aproximadamente 15 % da área total do pavimento.

Os defeitos de superfície e afundamentos de trilha de roda coletados são quantificados e atribui-se pesos ou fatores de ponderação para caracterizar sua influência (BRASIL, 2003b).

A determinação do IGG, segundo Brasil (2006b), permite classificar o estado geral do pavimento e torna-se um importante indicador para a tomada de decisão quanto a realização de intervenções de restauração.

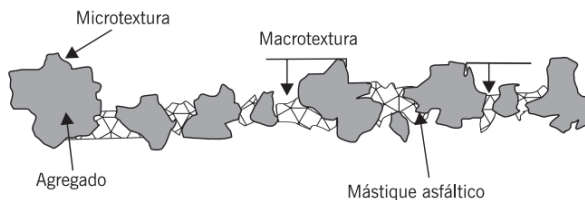
2.2.1.5 Avaliação de aderência pneu-pavimento

Quando se trata de segurança viária, a aderência produzida na interação pneu-pavimento é um dos principais aspectos a ser levado em conta, pois ela assegura a mobilidade e dirigibilidade do veículo (APS, 2006).

No que diz respeito à aderência, Bernucci et al. (2008) afirmam

que existem dois importantes fatores que colaboram na boa interação pneu-pavimento: a textura superficial da pista e as características dos pneus (ranhura, pressão de inflação, dimensões e tipo). Os autores ainda acrescentam que a textura superficial de um pavimento é avaliada em quatro escalas: microtextura, macrotextura, megatextura e irregularidade. No entanto, ressalta-se que referente a aderência pneu-pavimento apenas duas se destacam: a microtextura e a macrotextura. A Figura 9 apresenta um esquema ilustrativo dessas duas escalas de textura.

Figura 9 – Micro e macrotextura na superfície de um revestimento asfáltico



Fonte: (BERNUCCI et al., 2008)

Como pode ser observado na Figura 9, a microtextura corresponde basicamente à rugosidade ou aspereza individual da superfície dos agregados que formam a mistura asfáltica, não sendo possível observá-la a olho nu. Já a macrotextura está associada diretamente à faixa granulométrica, ao volume de vazios da mistura e as dimensões e configuração geométrica dos agregados (RODRIGUES FILHO, 2006).

Para Mattos (2009), a microtextura é o principal fator responsável pela resistência à derrapagem quando a velocidade de deslocamento do veículo é inferior a 50 km/h. Para velocidades maiores a macrotextura se torna fundamental, pois ela garante a drenagem superficial do pavimento evitando a derrapagem dos veículos.

Muitos são os métodos e equipamentos utilizados na determinação da textura superficial do pavimento. Como exemplo de equipamentos de medição da microtextura pode-se citar: Pêndulo Britânico, μ -meter, SCRIM, DF Tester, Grip-tester, entre outros. A macrotextura pode ser obtida por meio de ensaios de mancha de areia, perfilômetro e drenômetros (MATTOS, 2009).

Devido a essa grande diversidade de equipamentos e métodos para a determinação das medidas de microtextura e macrotextura, e com a necessidade de harmonizar esses resultados, foi desenvolvido pela

PIARC (*Permanent International Association of Road Congress*, atualmente denominada de *World Road Association*) um índice composto denominado IFI (*International Friction Index*) (MATTOS, 2009).

O experimento internacional da PIARC ocorreu na Bélgica e na Espanha, em rodovias submetidas ao tráfego real e que possuíam diferentes tipos de materiais, graus de desgaste e polimento. Nesse experimento foram empregados 47 equipamentos de medição de diferentes países (APS, 2006).

De acordo com Aps (2006), para calcular o valor numérico do IFI é necessário obter por meio de qualquer ensaio homologado duas informações relacionadas a superfície do pavimento, uma sobre a textura (macrotextura) e outra sobre o atrito (microtextura). Os valores de IFI calculados podem ser utilizados para definir estratégias de intervenção visando garantir a segurança do usuário quanto a aderência pneu-pavimento.

2.2.2 Avaliação Estrutural do Pavimento

A avaliação estrutural dos pavimentos é um processo de caracterização dos elementos e variáveis estruturais, a fim de verificar seu comportamento frente as solicitações do tráfego e efeitos climáticos (BALBO, 2007).

Segundo Balbo (2007), essa avaliação combinada com a avaliação dos defeitos de superfície permite diagnosticar os padrões e causas das patologias, possibilitando selecionar a alternativa mais adequada de reabilitação do pavimento, de modo a garantir a vida de projeto.

A caracterização da capacidade portante do pavimento é feita através de parâmetros estruturais, como as medidas de deformações (BALBO, 2007). Bernucci et al. (2008) asseguram que as deformações sofridas pelo pavimento devido a repetição das cargas se manifestam em duas componentes: deformações elásticas (recuperáveis) e deformações plásticas (permanentes).

As deformações elásticas ou recuperáveis correspondem a parte do deslocamento vertical causado na estrutura do pavimento devido a atuação de uma carga, de modo que, cessado o esforço a estrutura retorna à sua posição inicial. Esse comportamento é o responsável pelo fenômeno de fadiga das camadas betuminosas e cimentadas (BRASIL, 2006b).

As deformações plásticas ou permanentes correspondem a parte do deslocamento vertical, provocado pela atuação de uma carga, que

permanecem na estrutura após o descarregamento, sendo assim, tem caráter residual (BRASIL, 2006b).

Os métodos de avaliação estrutural se classificam em: destrutivos, semidestrutivos ou não destrutivos (BERNUCCI et al., 2008). Neste trabalho será mais explorado os ensaios não destrutivos, pois esses foram utilizados para estudar o segmento em questão.

2.2.2.1 Método de Avaliação Estrutural não-destrutivo

Os métodos não destrutivos investigam a condição estrutural do pavimento sem a necessidade de extração de amostra, preservando, desta forma, a área onde foi realizada a avaliação (FONSECA, 2013).

A determinação da capacidade estrutural, por meio de ensaios não destrutivos, é realizada através de provas de carga. O pavimento é submetido a um carregamento conhecido e mede-se as deformações que lhes são impostas (BALBO, 2007).

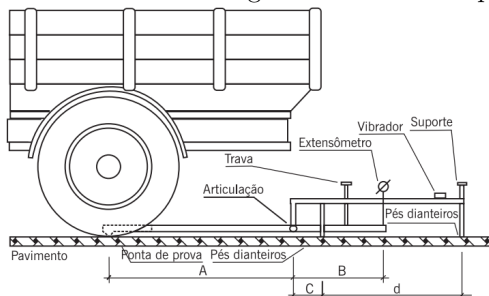
Existem, segundo Bernucci et al. (2008), três categorias de equipamentos utilizados para esse ensaio, eles se diferem pela forma com que a carga é aplicada: carregamento quase estático, carregamento vibratório e carregamento por impacto. No Brasil, os equipamentos mais utilizados são a Viga Benkelman (carregamento quase-estático) e o *Falling Weight Deflectometer* (carregamento por impacto).

2.2.2.1.1 Viga Benkelman

A viga Benkelman, desenvolvida na década de 1950 pelo engenheiro A. C Benkelman do Departamento de Transportes da Califórnia, foi introduzida no Brasil em 1962 e desde então vem sendo largamente utilizada (BERNUCCI et al., 2008).

O equipamento é simples e funciona pelo princípio do braço de alavanca, medindo a resposta do pavimento a aplicação de um carregamento quase estático (BALBO, 2007). Composta basicamente por uma haste rígida horizontal, como mostrado na Figura 10, a viga é dividida em duas partes proporcionais cujos comprimentos A e B podem seguir a relação 2/1, 3/1 ou 4/1. A extremidade maior (A) apresenta uma ponta de prova e a extremidade menor (B) contém um extensômetro. A viga se apoia sobre três pés e necessita de um caminhão basculante com eixo traseiro simples de roda dupla para aplicar uma carga de 8,2 tf sob a qual será medida a deformação elástica .

Figura 10 – Posicionamento da Viga Benkelman e da prova de carga



Fonte: Bernucci et al. (2008)

Apesar do baixo custo e facilidade de operação, esse ensaio é lento e apresenta dispersão elevada das leituras (BORGES, 2001).

2.2.2.1.2 *Falling Weight Deflectometer (FWD)*

O FWD (*Falling Weight Deflectometer*), criado na década de 1980, é um equipamento que mede a resposta do pavimento quando submetido a uma carga dinâmica por impacto (BERNUCCI et al., 2008). Esse carregamento procura simular a passagem de um veículo com velocidade de 60 a 80 km/h (NÓBREGA, 2003).

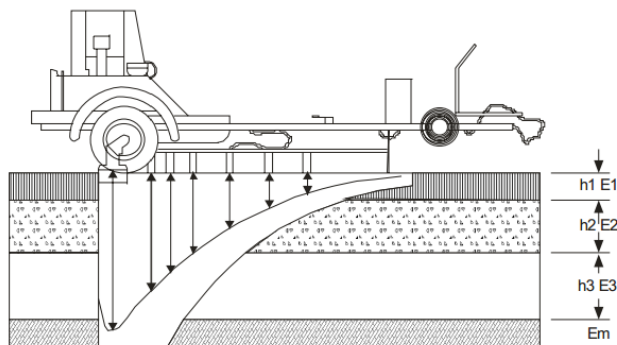
O equipamento é comandado automaticamente e rebocado por um veículo utilitário, que transporta parte do sistema de aquisição de dados (BERNUCCI et al., 2008).

De acordo com Kakuda (2010), o ensaio consiste em aplicar uma carga sobre uma placa, através de um conjunto de pesos, e medir a deflexão por sensores instalados ao longo de uma barra metálica. Simultaneamente ao levantamento das deflexões, o equipamento registra a força aplicada ao pavimento, a temperatura da superfície do revestimento e do ar e a distância percorrida (NÓBREGA, 2003).

Segundo Bernucci et al. (2008), a utilização do FWD promove maior produtividade (mais pontos levantados por dia) e acurácia nas medições porém, esse ensaio tem como desvantagem o elevado custo do equipamento, a necessidade de calibração mais sofisticada e a diferença de resultados entre marcas.

A Figura 11 apresenta a bacia deflectométrica medida com o equipamento FWD.

Figura 11 – Representação da bacia deflectométrica com FWD



Fonte: Brasil (2006b)

2.2.2.1.3 Correlação entre deflexões medidas com FWD e Viga Benkelman

A viga Benkelman é um equipamento versátil e de fácil operação, porém com a necessidade de aumentar a produtividade, reduzir a dispersão das leituras e os custos dos ensaios, foram desenvolvidos equipamentos como o FWD (BORGES, 2001).

No entanto, em um mesmo ponto do pavimento as deflexões obtidas com Viga Benkelman diferem daquelas obtidas com o FWD. Portanto, é necessário que se estabeleça uma correlação entre as deflexões recuperáveis medidas com esses dois equipamentos (GOMES et al., 2013).

Em um estudo realizado na malha rodoviária estadual de Santa Catarina, Borges (2001) elaborou modelos de correlação permitindo assim, determinar as deflexões que seria obtidas com a viga Benkelman a partir das medidas realizadas com o FWD.

Borges (2001) afirma que é necessário converter os valores de deflexão medidos com o FWD quando estes forem utilizados no dimensionamento de reforços, pois as metodologias vigentes no Brasil destinadas ao cálculo de reforço de pavimentos foram desenvolvidas para valores de deflexão medidos com viga Benkelman. A conversão também é necessária quando se deseja comparar dados históricos de levantamentos com viga. A autora ainda acrescenta que para cada tipo de estrutura de pavimento existe uma correlação, no entanto, quando não há um modelo próprio disponível para a estrutura em análise indica-se a

utilização dos modelos de correlação obtidos em seu trabalho, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Correlação entre FWD e Viga Benkelman

Estrutura	Camadas	Material/Espessura	Correlação
Tipo I	Revestimento Base Sub-base	CAUQ (4,0 A 6,0 cm) Brita Graduada Macadame seco	$D_{vb} = 1,202 D_{FWD} - 1,087$ $R^2 = 0,72$
			$D_{vb} = 1,224 D_{FWD}$ $R^2 = 0,72$
Tipo II	Revestimento Base Sub-base	CAUQ (4,0 A 6,0 cm) Brita Graduada Brita Graduada	$D_{vb} = 1,184 D_{FWD} - 0,631$ $R^2 = 0,63$
			$D_{vb} = 1,173 D_{FWD}$ $R^2 = 0,63$
Tipo III	Revestimento Base Sub-base	CAUQ (4,0 A 6,0 cm) Brita Graduada Solo Estabilizado	$D_{vb} = 1,160 D_{FWD} - 1,659$ $R^2 = 0,75$
			$D_{vb} = 1,185 D_{FWD}$ $R^2 = 0,75$
Tipo IV	Revestimento Base Sub-base	CAUQ (4,0 A 6,0 cm) Seixo Britado Seixo Parcialmente Britado	$D_{vb} = 1,214 D_{FWD} - 3,672$ $R^2 = 0,72$
			$D_{vb} = 1,132 D_{FWD}$ $R^2 = 0,72$
Tipo V	Revestimento Base Sub-base	CAUQ (4,0 A 6,0 cm) Brita Graduada Macadame seco	$D_{vb} = 1,515 D_{FWD} - 5,267$ $R^2 = 0,77$
			$D_{vb} = 1,388 D_{FWD}$ $R^2 = 0,77$
Tipo VI	Revestimento Base Sub-base	CAUQ (8,0 A 12,0 cm) Brita Graduada Macadame seco	$D_{vb} = 1,320 D_{FWD} - 10,435$ $R^2 = 0,76$
			$D_{vb} = 1,067 D_{FWD}$ $R^2 = 0,73$
Tipo VII	Revestimento Base Sub-base	CAUQ (8,0 A 12,0 cm) Brita Graduada Solo Estabilizado	$D_{vb} = 1,658 D_{FWD} - 17,773$ $R^2 = 0,87$
			$D_{vb} = 1,335 D_{FWD}$ $R^2 = 0,83$
Tipo VIII	Revestimento Base Sub-base	CAUQ (8,0 A 12,0 cm) Seixo Britado Seixo Parcialmente Britado	$D_{vb} = 1,325 D_{FWD} - 4,455$ $R^2 = 0,58$
			$D_{vb} = 1,207 D_{FWD}$ $R^2 = 0,58$

Fonte: Borges (2001)

2.2.2.2 Retroanálise

A retroanálise é um procedimento que permite estimar o módulo de elasticidade de cada camada do pavimento com base nos dados de avaliações não destrutivas. Esse método é utilizado na avaliação estru-

tural para fins de dimensionamento de reforço ou determinação da vida útil remanescente (PEREIRA, 2007).

De acordo com Bernucci et al. (2008), a retroanálise baseia-se na interpretação das bacias de deformações obtidas através do levantamento deflectométrico. Conhecendo-se o carregamento ao qual o pavimento foi submetido durante o levantamento, as características básicas dos materiais empregados em cada camada e suas espessuras, é possível determinar os módulos de elasticidade por meio de programas computacionais.

Existem diversos *software* disponíveis que, por meio de métodos iterativos, permitem determinar os módulos de resiliência de todas as camadas do pavimento. Nesses métodos procura-se, por meio da técnica de minimização do erro absoluto ou erro quadrático, o melhor ajuste entre as bacias deflectométricas levantadas em campo e as bacias calculadas pelo programa. Dentre os *software* existentes para realizar a retroanálise cita-se como exemplo o ELSYM5, FEPAVE2, JULEA, BAKFAA, KENLAYER e BISAR (NÓBREGA, 2003).

Com a utilização do método de retroanálise tem-se como vantagens (BERNUCCI et al., 2008):

- Redução do número de sondagens necessárias para determinação das espessuras e parâmetros desejados;
- Ensaios menos demorados e menos onerosos;
- Possibilita a obtenção dos módulos nas condições de campo.

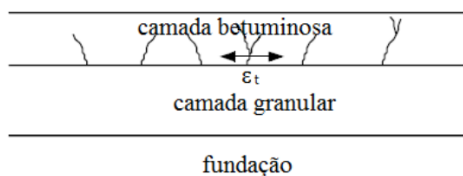
2.2.2.3 Critério de ruína à fadiga

A fadiga caracteriza-se pela redução da resistência de um corpo quando solicitado por carregamentos repetitivos. Para evitar o fenômeno é necessário que os esforços gerados no pavimento sejam inferior a um valor admissível estabelecido em laboratório (BRASIL, 2006b).

Nesse sentido, o critério de fadiga apresenta-se como um dos parâmetro de ruína dos pavimentos flexíveis, pois controla as deformações de tração, ε_t , na zona mais tracionada das camadas betuminosas (SANTOS, 2009), como mostrado na Figura 12.

A lei de fadiga, segundo Santos (2009), é definida pela relação entre o valor da deformação e o número admissível de aplicações de um carregamento. De acordo com o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (BRASIL, 2006b), as leis de fadiga são expressas na forma da equação 2.2.

Figura 12 – Representação esquemática do critério de ruína à fadiga



Fonte: Santos (2009)

$$N = k * (\varepsilon_t)^{-n} \quad (2.2)$$

onde:

N = número de repetições devidas ao carregamento até o início do trincamento por fadiga;

ε_t = deformação específica de tração;

k e n = constantes obtidas em laboratório.

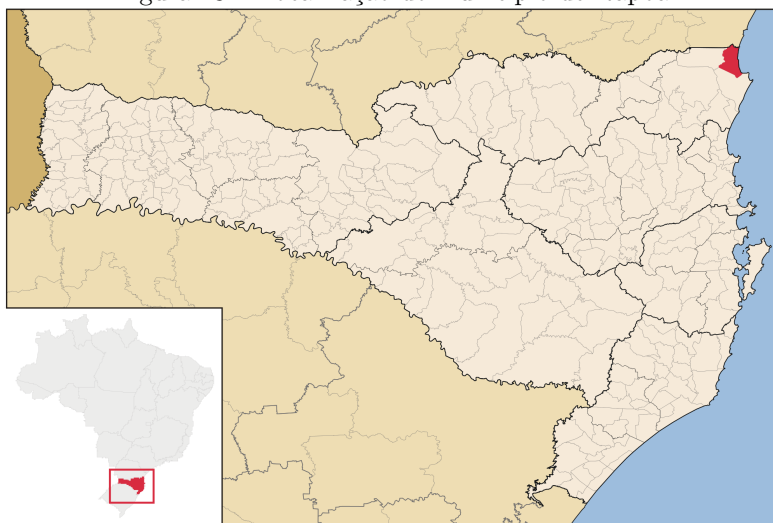
3 CARACTERIZAÇÃO DO SEGMENTO

3.1 LOCALIZAÇÃO

O segmento em análise pertence a SC-416 (antiga SC-415), uma rodovia estadual localizada no norte do estado de Santa Catarina. A rodovia apresenta 27,715 Km de extensão que ligam os municípios de Garuva e Itapoá, o segmento em estudo abrange apenas o trecho entre as estacas 1170 e 1190, totalizando 400 metros de extensão.

A Figura 13 mostra a localização do município de Itapoá em relação ao estado de Santa Catarina. E a Figura 14 apresenta a localização do trecho experimental de Itapoá.

Figura 13 – Localização do município de Itapoá



Fonte: Wikipédia (2015)

Devido ao porto existe no município de Itapoá, o tráfego no local é bem peculiar. Os caminhões que se deslocam em direção ao porto vão carregados e, geralmente, retornam vazios. Desta maneira, a faixa no sentido Garuva-Itapoá é mais solicitada do que a faixa no sentido contrário. Além disto, as cargas são relativamente bem controladas, visto que, a grande maioria dos caminhões transporta contêiner com carga refrigerada.

Figura 14 – Trecho experimental de Itapoá



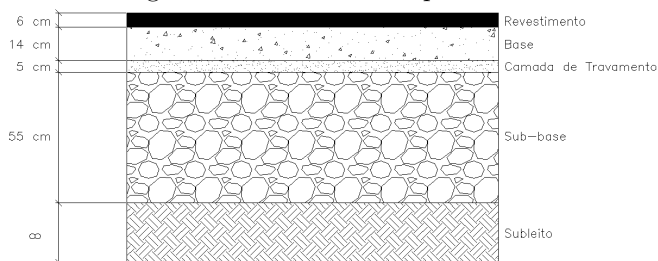
Fonte: Google Earth (sem escala)

3.2 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

O dimensionamento tem por finalidade determinar a espessura de cada camada que constitui o pavimento de modo que ele resista e transfira para o subleito o carregamento imposto pelo tráfego.

A rodovia SC 416 foi construída em pavimento flexível, com revestimento em asfalto borracha, e teve sua estrutura dimensionada pelo Método do Eng^o Murilo Lopes de Souza (DNER/1981), resultando na estrutura de pavimento apresentada na Figura 15.

Figura 15 – Estrutura do pavimento



Fonte: Autoria própria

Sendo assim, o pavimento executado é constituído por uma camada de revestimento asfáltico de 6 cm, apoiada sobre uma camada

de base de brita graduada com 14 cm de espessura. A sub-base foi executada em rocha detonada e sobre ela foi distribuída uma camada de travamento de 5 cm.

É importante destacar que de acordo com o método empregado no dimensionamento do pavimento, para o N de projeto de $1,16 \times 10^7$, seria necessária uma espessura mínima de revestimento em asfalto convencional de 10 cm. No entanto, a camada de revestimento foi executada em asfalto borracha, e por isso, considerou-se uma redução de espessura recomendada por Caltrans (apud FONTES, 2009) que é apresentada na Tabela 2. Assim, para que a camada de revestimento esteja a favor da segurança, definiu-se que a espessura necessária seria 6 cm.

Tabela 2 – Valores de espessuras recomendados pelo Caltrans (1992)

Espessura calculada para mistura convencional (cm)	Espessuras recomendadas pelo Caltrans (1992)
	Mistura com betume-borracha (cm)
4,0	3,0*
5,0	3,0*
6,0	3,0
7,6	4,5
8,0	4,5
9,0	4,5
10,5	6,0
12,0	6,0
13,0	6,0
14,0	4,5
15,0	4,5
16,0	4,5
17,0	6,0
18,0	6,0
26,0	**

* A espessura mínima permitida pelo Caltrans (1992) é de 3,0 cm

** A espessura do Caltrans (1992) deve ser composta

Fonte: Adaptado de Caltrans (apud FONTES, 2009)

3.3 PROCESSO CONSTRUTIVO E CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS EMPREGADOS

3.3.1 Sub-base

No trecho em análise a sub-base foi executado em uma camada de rocha detonada de origem gnáissica. A rocha detonada foi adotada pelo fato da rodovia estar inserida em uma região de grande pluviosidade

(2400 mm/ano) e alta umidade relativa. Assim, não foi possível atender às especificações de projeto para a camada final de terraplenagem.

As Figuras 16 e 17 mostram o aspecto da camada final de terraplenagem antes da colocação da camada de rocha detonada.

Figura 16 – Aspecto da camada final de terraplenagem



Fonte: Trichês (2014)

Figura 17 – Aspecto da camada final de terraplenagem



Fonte: Trichês (2014)

Na Figura 18, verifica-se o espalhamento da rocha detonada e

na Figura 19 se observa que sobre a camada de rocha detonada foi distribuído um material que fará o travamento dessa camada.

Figura 18 – Espalhamento da rocha detonada



Fonte: Trichês (2014)

Figura 19 – Travamento da camada de rocha detonada



Fonte: Trichês (2014)

O quadro da Figura 21 apresenta as especificações de projeto e as características do solo empregado na camada final de terraplenagem e na camada de sub-base do segmento em análise. Nesse quadro é possível

Figura 21 – Informações sobre o material empregado na camada de base

OBRA	RODOVIA		SC-415	
	TRECHO		SC-412 (BR-101 PLANEJADA) - ITAPOÁ	
	EMPREENTEIRA		FORTUNATO LTDA	
MATERIAL PÉTREO	TIPO		GNAISSE	
	ABRASÃO (max 50%)		FAIXA "A" 25,4	
	DURABILIDADE (max 12%)		0,65	
	LAMELAR. / ÍNDICE FORMA 25%, >0,4		8,0 / 2,25	
	% ABSORÇÃO		0,54	
GRANULOMETRIA	FAIXA DE PROJETO		FAIXA "I" DE INFRA/SC	
	COMPOSIÇÃO TRAÇO			
		2"	65%	
		PÓ	35%	
	PENEIRAS		PROJETO	FAIXA DE TRABALHO
		2"		FAIXA "I" DE INFRA
		1 1/2"		90 - 100
		1"	78,1	70 - 95
		3/4"		
		1/2"		
		3/8"	52,4	30 - 65
		4	42,3	25 - 55
		10	28,2	15 - 40
		40	13,4	8 - 20
		80		
		200	3,9	2 - 8
CARACTERÍSTICAS DA MISTURA	DENSIDADE REAL (g/cm ³)		2,763	
	DENSIDADE APARENTE (g/cm ³)		2,728	
	MAX. DENS. APAR. SECA (g/cm ³)		2,248	
	UMIDADE ÓTIMA (%)		6,5	
	Nº GOLPES		ID P/ 74 GOLPES = 4,6%	
	I.S.C. (%)		146,5	
	MAX. DENS. PISTA (g/cm ³)			
	EQUIVALENTE DE AREIA (%)		67,5 (Espec. >30,0%)	
	Nº PASSADAS		12,0	
	ROLO (marca / modelo)		COMBAT CB 250G -12,1 T	
	Nº PASSADAS		6,0	
	ROLO (marca / modelo)		CP 271 DNAPAC - 18,0 T	

Fonte: "As Built" SOTEP A (2012)

granulométrica e as propriedades da mistura asfáltica.

Figura 22 – Característica do traço da camada betuminosa - Borracha

OBRA	RODOVIA		SC-415			
	TRECHO		SC-412 (BR-101 PLANEJADA) - ITAPOÁ			
	EMPREENTEIRA		FORTUNATO LTDA			
MATERIAL PÉTREO	TIPO		GNAISSE			
	ABRASÃO (%)		FAIXA "A" 26,9			
	SANIDADE (%)		0,78			
	LAMELAR. / ÍNDICE FORMA		8,0 / 2,3			
	% ABSORÇÃO		0,38			
AGREGADOS	DENSIDADE REAL (g/cm3)		2,796			
	DENSIDADE APARENTE (g/cm3)		2,767			
			0			
	CARACTERÍSTICAS DA MISTURA					
	SERVIÇOS / FAIXA DE PROJETO					
GRANULOMETRIA	PRODUTO UTILIZADO					
	COMPOSIÇÃO TRAÇO	1"				
		3/4"	20,0%			
		3/8"	25,0%			
		PÓ	53,5%			
		BORRACHA	15,0%			
		FILLER	1,50%			
	PENEIRAS		PROJETO	FAIXA DE TRABALHO	FAIXA IV-B INST. ASFALTO	
		1"	100,0	100,0 - 100,00	100,0 - 100,00	
		3/4"	100,0	100,0 - 100,00	100,0 - 100,00	
		1/2"	91,5	84,5 - 98,5	80 - 100	
		3/8"	84,9	77,9 - 90,0	70 - 90	
		4	60,4	55,4 - 65,4	50 - 70	
8		44,0	39,0 - 49,0	35 - 50		
30		24,0	19,0 - 29,0	18 - 29		
50		17,5	13,0 - 22,5	13 - 23		
	100	10,9	8,0 - 13,9	8 - 16		
	200	7,2	5,2 - 9,2	4 - 10		
CARACTERÍSTICAS MARSHALL	DENSIDADE TEÓRICA (g/cm3)		2,501			
	DENSIDADE APARENTE (g/cm3)		2,390			
	TEOR DE BETUME (%)		6,10			
	V. A. M. (%)		18,6			
	V. V. (%)		4,20 (3 a 5)			
	R. B. V. (%)		77,2 (65 a 78)			
	ESTABILIDADE (Kgf)		1167 (> 800)			
	FLUÊNCIA (1/100")		13,4 (2 - 4)			
	EQUIVALENTE DE AREIA (%)		65,2 (Especif. >55%)			
	C. S. M. (Kgf)		92,8			
	FINOS / BETUME		1,18			
	R T C D (kgf/cm²)		8,68			

Fonte: "As Built" SOTEP A (2012)

3.4 CONTROLE DEFLECTOMÉTRICO

Durante a etapa de projeto determinou-se as deflexões admissíveis que cada camada do pavimento deveria apresentar durante o período de projeto. Os valores determinados são os seguintes:

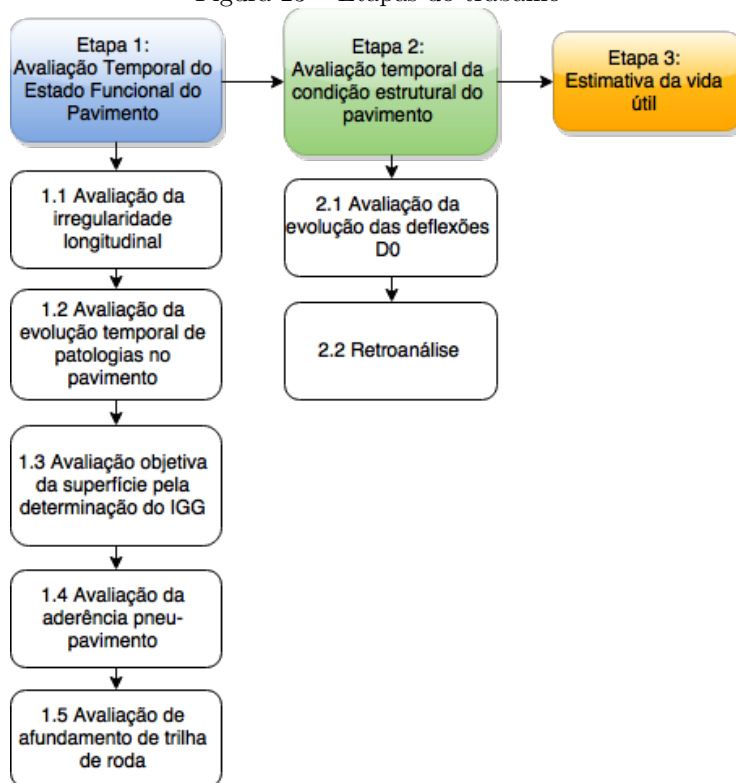
- Camada Final de Rocha: 98
- Base de Brita Graduada: 82
- Revestimento em CAUQ: 66

As deflexões foram medidas a cada 20 metros, em ambas as faixas de rolamento, por meio de uma viga Benkelman convencional, com relação de braço $a/b:2/1$. O caminhão utilizado apresentava uma carga de 8,2 tf no eixo traseiro simples, que era distribuída igualmente entre as duas rodas duplas.

4 MÉTODO DO TRABALHO

O método de trabalho foi desenvolvido em três etapas, conforme apresentadas na Figura 23.

Figura 23 – Etapas do trabalho



Fonte: Autoria própria

4.1 ETAPA 1 - AVALIAÇÃO TEMPORAL DO ESTADO FUNCIONAL DO PAVIMENTO

A avaliação temporal do estado funcional do pavimento foi realizada por meio dos dados de irregularidade longitudinal, levantamento

de defeitos de superfície, medidas de micro e macrotextura e medidas do afundamento de trilha de roda.

4.1.1 Irregularidade longitudinal

No ano de 2014, o Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) realizou as medidas de irregularidade longitudinal em cada uma das faixas de rolamento do trecho em estudo. Para o levantamento da irregularidade, a COPPE utilizou o Perfilômetro a Laser desenvolvido pela empresa Ciberométrica.

Esse perfilômetro (Figura 24) é composto por 5 módulos de laser instalados na parte frontal do veículo que operam sem contato, a partir do princípio da onda de luz do laser. Dos 5 sensores instalados no veículo 3 são responsáveis pela medição da irregularidade do pavimento.

Figura 24 – Perfilômetro a Laser (COPPE/UFRJ)



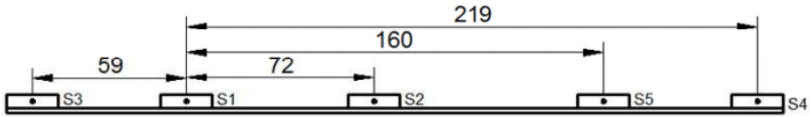
Fonte: Trichês (2014)

Na Figura 25, verifica-se um esquema do posicionamento dos 5 sensores do equipamento e a distância entre eles. Os 3 módulos de laser considerados na análise da irregularidade longitudinal são: S1, S2 e S5.

Através do levantamento realizado em 2014 foram obtidos a cada 20 metros os valores de IRI nos sensores S1, S2 e S5. Entretanto, neste trabalho utilizou-se o valor médio entre essas três medições, totalizando 42 medidas sendo 21 em cada faixa de rolamento.

A Tabela 3 apresenta uma classificação para os valores de ir-

Figura 25 – Posição e distância entre os sensores do perfilômetro



Fonte: Trichês (2014)

regularidade longitudinal estabelecida pelo DNIT no Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (BRASIL, 2006b). De acordo com Brasil (2006b), quando os valores de IRI encontram-se entre 3,5 e 4,0 o pavimento apresenta um desempenho próximo de sua condição limite permissível. Neste sentido, a Agência Reguladora de Transporte do Estado de São Paulo (ARTESP, 2014) estabeleceu para as rodovias concessionadas, o seguinte limite de aceitabilidade para um trecho com no mínimo 200 m e no máximo 1000 m: $IRI \leq 2,69 \text{ m/km}$. Na avaliação da irregularidade longitudinal esse limite foi comparado com os valores obtidos no levantamento com o perfilômetro.

Tabela 3 – Níveis de irregularidade

Conceito	Irregularidade	
	QI (cont./km)	IRI (m/km)
Excelente	13 - 25	1,0 - 1,9
Bom	25 - 35	1,9 - 2,7
Regular	35 - 45	2,7 - 3,5
Ruim	45 - 60	3,5 - 4,6
Péssimo	> 60	> 4,6

Fonte: Brasil (2006b)

4.1.2 Levantamento de defeitos de superfície

O inventário dos defeitos de superfície no segmento de Itapoá foi feito pelo Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em 2012 e 2015. Nesses levantamentos buscou-se as seguintes ocorrências (defeitos):

- Segregação
- FC1 - trincas com abertura superior à das fissuras, mas inferior

à 1,0 mm;

- FC2 - trincas com abertura superior a 1,0 mm e sem erosão nas bordas;
- FC3 - trincas com abertura superior a 1,0 mm e com erosão nas bordas;
- BU - Buraco ou panela;
- AFP - afundamento plástico;
- TT - trinca transversal;
- TL - trinca longitudinal;
- R - Remendo
- D - Desgaste

Primeiramente, todas as patologias existentes no segmento foram detectadas e demarcadas, como pode ser observado na Figura 26. Em seguida, utilizando o equipamento da Figura 27 mediu-se o comprimento e a largura, permitindo assim o cálculo da área afetada pela patologia. No caso das trincas FC-1 isoladas mediu-se o comprimento com o equipamento e considerou a largura igual a 0,20 m.

Figura 26 – Defeitos de superfície demarcados



Fonte: Laboratório de Pavimentação UFSC

Com os dados de comprimento e largura das patologias a área ocupada por cada patologia foi calculada, e a partir dessa informação,

Figura 27 – Equipamento medidor de distância



Fonte: Laboratório de Pavimentação UFSC

foi possível avaliar a evolução dos defeitos de superfície entre um levantamento e outro.

De acordo com (BRASIL, 2006b), os defeitos existentes no pavimentos podem ser um indicativo de comprometimento estrutural do pavimento. Por isso, o manual determina que quando o trincamento por fadiga compreende mais de 20% da área, seria necessária uma intervenção. Por essa razão, a porcentagem de área trincada também foi avaliada neste trabalho. Primeiramente, considerou-se toda a superfície do segmento e, posteriormente, foi considerada somente a área referente as trilhas de roda (2,4 m, sendo 1,2 m de cada trilha de roda). Os resultados obtidos foram comparados ao limite estabelecido por Brasil (2006b).

4.1.2.1 Cálculo do IGG

Por se tratar de uma rodovia em pista simples, a norma define que a superfície de avaliação deve estar localizada a cada 20 m alternados em relação ao eixo da pista, ou seja, de 40 m em 40 m em cada faixa de tráfego. Entretanto, a fim de avaliar a influência do tráfego mais pesado na faixa Garuva-Itapoá, o Índice de Gravidade Global foi calculado para cada faixa de rolamento, para isso, se considerou os defeitos encontrados nas estações estabelecidas de 20 m em 20 m em cada faixa de tráfego. A superfície de avaliação definida corresponde a uma área com 6 m de extensão e largura de 3,5 m.

Nas estações de ensaio ocorreu a identificação dos diferentes tipos de defeitos, no entanto, para o cálculo do IGG não foi necessário considerar a quantidade ou a área atingida por cada defeito, apenas indicar sua presença. Simultaneamente ao levantamento de patologias realizou-se as medidas dos afundamentos de trilha de roda externa.

Dispondo de todos os dados e utilizando a planilha de cálculo

apresentada na Figura 28, iniciou-se o cálculo do IGG para cada faixa de rolamento.

Figura 28 – Planilha de cálculo do Índice de Gravidade Global (IGG)

Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual
1	(FC I) F, TTC, TTL, TLC, TLL, TER			0,2	
2	(FC II) J, TB			0,5	
3	(FC III) JE, TBE			0,8	
4	ALP, ATP			0,9	
5	O, P, E			1,0	
6	Ex			0,5	
7	D			0,3	
8	R			0,6	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TER		F=	1 A () 1 B ()	
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas		FV=	2 A () 2 B ()	
Nº total de estações inventariadas			Σ IGI = IGG		
Conceito					
1A) IGI = F * 4/3 quando F ≤ 30 1B) IGI = 40 quando F > 30		2 A) IGI = FV quando FV ≤ 50 2 B) IGI = 50 quando FV > 50			

Fonte: Adaptado de Brasil (2006b)

Primeiramente, foi determinada a frequência absoluta, que equivale ao número de vezes que o defeito foi verificado na faixa de tráfego. Na sequência, foi calculada a frequência relativa pela equação 4.1.

$$f_r = \frac{f_a * 100}{n} \quad (4.1)$$

onde:

f_r = frequência relativa;

f_a = frequência absoluta;

n = número de estações inventariadas.

Com os resultados obtidos, foi calculado o Índice de Gravidade Individual (IGI) através da equação 4.2.

$$IGI = f_r * f_p \quad (4.2)$$

onde:

IGI = Índice de Gravidade Individual;
 f_r = frequência relativa;
 f_p = fator de ponderação, de acordo com a planilha da Figura 28.

Para os afundamentos de trilha de roda externa determinou-se a média (F) e a variância (FV). O Índice de Gravidade Individual utilizado para a média e a variância dependem dos critérios a seguir:

- a. Se a média aritmética dos afundamentos de trilha de roda for menor ou igual a 30, utiliza-se o fator de ponderação $f_p = 4/3$. Se for superior a 30, adota-se IGI = 40;
- b. Se a variância dos afundamentos de trilha de roda for menor ou igual a 50, utiliza-se o fator de ponderação $f_p = 1$. Se for superior a 50, adota-se IGI = 50;

O Índice de Gravidade Global foi obtido por meio da soma de todos os valores de IGI, como mostrado na equação 4.3.

$$IGG = \sum IGI \tag{4.3}$$

onde:

IGG = Índice de Gravidade Global;
 $\sum IGI$ = somatório dos Índices de Gravidade Individuais.

Com o objetivo de conceituar o pavimento em termos de grau de degradação atingido, o Índice de Gravidade Global calculado foi classificado de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 – Condições do pavimento em função do IGG

Conceitos	Limites
Ótimo	$0 < IGG \leq 20$
Bom	$20 < IGG \leq 40$
Regular	$40 < IGG \leq 80$
Ruim	$80 < IGG \leq 160$
Péssimo	$IGG > 160$

Fonte: Brasil (2003b)

Nas rodovias concessionadas de São Paulo, a ARTESP (2014) estabelece para cada faixa de rolamento, considerando um trecho com

extensão mínima de 200 m e máxima de 1000 m, a seguinte condição de superfície: $IGG \leq 30$.

4.1.3 Aderência pneu-pavimento

Para verificar a aderência pneu-pavimento no trecho em análise foram adotados ensaios e equipamentos de medidas de micro e macro-textura. Os métodos utilizados estão descritos a seguir, assim como, o procedimento de cálculo necessário para obter o índice IFI.

4.1.3.1 Grip Tester

No ano de 2014, o Grip Tester foi o equipamento responsável pela determinação dos valores de microtextura no segmento em estudo. O ensaio foi realizado pela COPPE/UFRJ utilizando o equipamento da Figura 29.

Figura 29 – Grip Tester (COPPE/UFRJ)



Fonte: Trichês (2014)

O Grip tester é um equipamento rebocável composto por três rodas, sendo que a roda central é constituída por um pneu de medição normalizado. Durante o ensaio a roda central é parcialmente bloqueada e as forças verticais e horizontais que atuam sobre o pneu vão sendo medidas e totalizadas a cada 10 metros. Esse ensaio é realizado com a superfície do pavimento molhada com uma película de água de 0,25 mm de espessura (AMARANTE JÚNIOR et al., 2005). O coeficiente de

atrito é obtido através da equação 4.4:

$$GN = \frac{F_v}{F_h} \quad (4.4)$$

onde:

GN = Grip Number (Coeficiente de Atrito - Número Adimensional);

F_v = Força Vertical (Kgf);

F_h = Força Horizontal (Kgf).

Como o Manual de Restauração de Pavimentos Asfáltico (BRASIL, 2006b) não apresenta uma classificação para os valores de microtextura medidos com o Grip Tester, foram utilizados os parâmetros estabelecidos pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). A ANAC (2012) determina, para um nível de manutenção, valores de GN entre 0,53 e 0,36.

4.1.3.2 Pêndulo Britânico

O pêndulo britânico é um equipamento simples e portátil, dotado de um braço pendular cuja extremidade apresenta uma placa recoberta de borracha que simula a superfície de um pneu de veículo automotor. Ao ser liberada em queda livre, a sapata de borracha é atritada contra a superfície do pavimento que se encontra previamente umedecida, a fim de representar a pior situação de tráfego. O valor exibido no equipamento está associado a perda de energia por atrito e é expresso em VRD - Valor de Resistência à Derrapagem (BRASIL, 2006b).

No segmento de Itapoá, o pêndulo britânico (Figura 30) foi o equipamento adotado pelo Laboratório de Pavimentação da UFSC para determinar as medidas de microtextura em 2015. Em cada ponto analisado registraram-se quatro medidas, e a partir dessas calculou-se o valor médio de VRD.

O Manual de Restauração de Pavimentos Asfáltico (BRASIL, 2006b), classifica a microtextura de uma superfície em função do parâmetro VRD, conforme mostrado na Tabela 5.

Ao avaliar a microtextura pelo método do pêndulo britânico o manual sugere valores de VRD ≥ 55 , ou seja, superfície medianamente rugosa a rugosa.

Figura 30 – Pêndulo Britânico



Fonte: Laboratório de Pavimentação UFSC

Tabela 5 – Classes de microtextura pelo método do Pêndulo Britânico

Classes	VRD - Valor de resistência à derrapagem
Perigosa	< 25
Muito lisa	25 - 31
Lisa	32 - 39
Insuficientemente rugosa	40 - 46
Medianamente rugosa	47 - 54
Rugosa	55 - 75
Muito rugosa	> 75

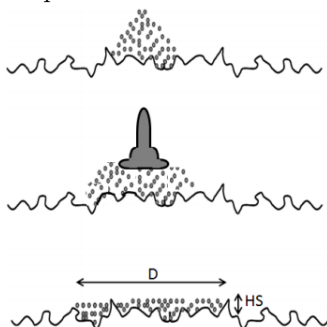
Fonte: Brasil (2006b)

4.1.3.3 Mancha de Areia

O ensaio de mancha de areia é a forma mais simples de avaliar a macrotextura do revestimento (BERNUCCI et al., 2008). O método de ensaio consiste em depositar sobre a superfície um volume conhecido de areia com granulometria padronizada, e em seguida espalhar esse material com movimentos circulares preenchendo os vazios da textura superficial do pavimento, conforme Figura 31, de modo que o diâmetro final da mancha seja função da altura (BRASIL, 2006b).

Em 2014 e 2015, o Laboratório de Pavimentação da UFSC optou pelo ensaio de mancha de areia para coletar as medidas de macrotextura

Figura 31 – Esquema do ensaio de Mancha de Areia



Fonte: Mattos (2009)

no trecho em análise. A Figura 32 mostra umas dessas medidas de mancha de área realizadas no segmento monitorado de Itapoá.

Figura 32 – Ensaio de mancha de areia no segmento de Itapoá



Fonte: Laboratório de Pavimentação UFSC

Nos pontos examinados foram determinadas, em diferentes direções, quatro medidas do diâmetro do círculo de areia. A partir da média aritmética desses valores determinou-se o diâmetro médio (D_m),

que inserido na equação 4.5 permite calcular a altura média da mancha de areia (HS).

$$HS = \frac{4 * V}{\pi * D_m^2} \quad (4.5)$$

onde:

HS = Altura média da mancha (mm);

V = Volume de areia (mm³);

D = Diâmetro médio da mancha (mm).

Conforme apresentado na Tabela 6, o Manual de Restauração de Pavimentos (BRASIL, 2006b) estabelece uma classificação para os valores de macrotextura em função do parâmetro HS.

Tabela 6 – Classe de macrotextura pelo método da Mancha de Areia

Profundidade média em (mm)	Textura superficial
HS < 0,20 mm	Muito fina ou muito fechada
0,20 mm < 0,40 mm	Fina ou fechada
0,40 < HS < 0,80 mm	Média
0,50 mm < HS < 1,20 mm	Grosseira ou aberta
HS > 1,20 mm	Muito grosseira ou aberta

Fonte: Brasil (2006b)

Para superfícies avaliadas por meio do ensaio de mancha de areia, o manual sugere que o valores de altura média de areia (HS) mantenham-se entre 0,6 mm e 1,2 mm, que indica textura superficial média a grosseira.

4.1.3.4 Cálculo do IFI

O cálculo do valor numérico de IFI, índice que combina valores de microtextura e macrotextura, inicia com a determinação da constante da velocidade de referência (S_p), obtida com uma medida de macrotextura (T_x) por meio da equação 4.6.

$$S_p = a + b * T_x \quad (4.6)$$

onde:

- S_p = Constante de referência da velocidade;
- a e b = constantes em função do método usado para determinar a macrotextura;
- T_x = valor da macrotextura.

Os valores das constantes a e b podem ser verificados na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores de a e b para cálculo de S_p

Método de Ensaio	a	b
Perfilômetro Laser	14,2	89,7
Mancha de Areia	-11,6	113,6

Fonte: Aps (2006)

Visto que, os dados de macrotextura deste trabalho foram obtidos através do ensaio de mancha de areia, utilizou-se as constantes a e b referentes a esse método de ensaio para o cálculo do IFI.

Na sequência, com o valor de atrito medido (FRS) calcula-se o valor de atrito referente à velocidade de deslizamento de 60 km/h (FR_{60}), conforme a equação 4.7.

$$FR_{60} = FRS * e^{[(S-60)/S_p]} \tag{4.7}$$

onde:

- FR_{60} = valor de atrito referente à velocidade de 60 km/h;
- FRS = valor de microtextura;
- S = velocidade de referência para o tipo de equipamento (Tabela 8);
- S_p = constante de referência da velocidade.

O último passo é determinar o atrito harmonizado de referência (F_{60}) através da equação 4.8.

$$F_{60} = A + B * FR_{60} + C * T_x \tag{4.8}$$

onde:

- F_{60} = valor do atrito harmonizado para a velocidade de 60 km/h;

A, B e C = constantes de calibração de acordo com o equipamento utilizado;

FR_{60} = valor de atrito referente à velocidade de 60 km/h;

T_x = valor da macrotextura.

Na Tabela 8, são expressos os valores dos coeficientes de calibração A, B e C, e o valor da velocidade de referência para cada tipo de equipamento utilizado na medição de microtextura.

O valor do atrito harmonizado para a velocidade de 60 km/h (F_{60}) é classificado conforme mostrado na Tabela 9.

4.1.4 Afundamento de trilha de roda

Com os dados coletados nos anos de 2012, 2014 e 2015 foi realizada a análise dos afundamentos de trilha de roda.

Em 2012 e 2015, as flechas nas trilhas de roda foram medidas pelo Laboratório de Pavimentação da UFSC utilizando uma barra metálica de 1,20 m de comprimento (mesmo comprimento da base da treliça) e uma régua. No primeiro levantamento foram obtidas 33 medidas, sendo 17 no bordo externo da faixa no sentido Garuva-Itapoá e 16 no bordo externo da faixa no sentido contrário. Já em 2015 os afundamentos de trilha de roda foram determinados em 32 estacas, sendo 16 medidas no bordo externo de cada faixa de rolamento. A Figura 33 mostra os instrumentos empregados nesse procedimento.

Figura 33 – Barra metálica e régua



Fonte: Laboratório de Pavimentação UFSC

No ano de 2014, a coleta de dados foi feita pela COPPE através do Perfilômetro a Laser. Nesse levantamento foram obtidas as medidas de afundamento de trilha de roda interna e externa, por meio dos sensores S3 e S4, ilustrados na Figura 25.

Com relação ao afundamento de trilha de roda, a ARTESP

Tabela 8 – Relação de equipamentos calibrados pelos modelos da PI-ARC

Características	Equipamento	S	A	B	C
Pneus lisos					
Roda Bloqueada	ASTME-274 (USA)	65	0,045	0,925	0
	LCPC Skid Trailer (F)	60	0,002	1,008	0
Roda Parcialmente Bloqueada	OSCAR at 86% (N)	52	-0,030	0,864	0
	OSCAR at 20% (N)	12	0,119	0,643	0
	Komatsu Skid Trailer (J)	10	0,042	0,849	0
	DWW Trailer (NL)	43	0,019	0,868	0
	Griptester (UK)	9,4	0,082	0,910	0
Roda Obliqua	Stradograph (DK)	12,5	0,054	0,770	0
	Odoliograph Wallon (B)	12,9	0,113	0,729	0
	Odoliograph CRR (B)	20,5	0,113	0,746	0
	SCRIM FLEMISH (B)	20,5	0,049	0,967	0
	SCRIM CEDEX (E)	20,5	0,019	0,813	0
	SCRIM MOPT (E)	20,5	0,032	0,873	0
	SCRIM SRM (D)	20,5	0,017	0,850	0
	SCRIM GEOCISA (E)	20,5	0,021	0,928	0
	SCRIM (F)	20,5	-0,006	0,862	0
	SUMMS (I)	20,5	0,002	0,987	0
	SCRIMTEX (UK)	17,1	0,033	0,872	0
Pneus com ranhuras					
Roda bloqueada	Stuttgarter Reibungsmesser (CH)	60	0,022	0,050	0,082
	Skiddometer (CH)	60	0,026	0,504	0,099
	Stuttgarter Reibungsmesser (A)	60	-0,072	0,767	0,086
	ASTME-274 (USA)	65	-0,023	0,607	0,098
	Friction Tester (PL)	60	-0,025	0,807	0,068
Roda Parcialmente Bloqueada	Stuttgarter Reibungsmesser (CH)	12	0,141	0,323	0,074
	Skiddometer	12	0,030	0,918	-0,014
	BV-11(S)	12	0,040	0,856	-0,016
	Stuttgarter Reibungsmesser (A)	12	0,020	0,867	-0,006
Equipamentos com sapatas					
Estáticos	DF Tester at 60 km/h (J)	60	-0,034	0,771	0
	DF Tester at 20 km/h (J)	20	0,081	0,732	0
	Pendulum Tester BPT (USA)	10	0,056	0,008	0
	Pendulum Tester SRT (CH)	10	0,044	0,010	0

Fonte: Aps (2006)

(2014) estabelece que para um trecho com extensão mínima de 200 m e máxima de 1000 m, o valor da flecha na trilha de roda deve ser igual ou inferior a 7 mm. Essa condição será comparada com os valores de trilha de roda medidos no segmento de Itapoá.

Tabela 9 – Faixas limites de valores de IFI (F_{60})

Conceitos	Limites
Péssimo	$IFI < 0,05$
Muito Ruim	$0,06 < IFI \leq 0,08$
Ruim	$0,09 < IFI \leq 0,11$
Regular	$0,12 < IFI \leq 0,14$
Bom	$0,15 < IFI \leq 0,21$
Muito Bom	$0,22 < IFI \leq 0,35$
Ótimo	$IFI > 0,35$

Fonte: Aps (2006)

4.2 ETAPA 2 - AVALIAÇÃO TEMPORAL DA CONDIÇÃO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO

Os dados necessários para a avaliação das condições estruturais do pavimento foram obtidos pela medição das deflexões através de ensaios não-destrutivos, utilizando a Viga Benkelman em 2011 e o FWD em 2014.

4.2.1 Levantamentos Deflectométricos

O primeiro levantamento deflectométrico foi realizado em 2011, pela empresa SOTEPa (Sociedade Técnica de Estudos, Projetos e Assessoria Ltda), utilizando uma viga Benkelman convencional, com relação de braço $a/b:2/1$, e um caminhão com carga de 8,2 tf no eixo traseiro simples.

De acordo com Bernucci et al. (2008) esse ensaio ocorre da seguinte forma: a ponta de prova da viga é colocada entre os pneus de uma das rodas duplas do eixo traseiro do caminhão, e então, faz-se uma leitura inicial (L_i) no extensômetro. Em seguida, o caminhão deve se afastar, lentamente, 10 metros da ponta de prova ou até o extensômetro não registrar mais variações da leitura. Então, é feita a leitura final (L_f) no extensômetro. A deflexão do pavimento é calculada por meio da seguinte expressão:

$$D0 = (L_i - L_f) * K \quad (4.9)$$

onde:

D0 = deflexão total ou máxima medida sob a roda (0,01 mm);

L_i = leitura inicial no extensômetro (0,01 mm);

L_f = leitura final no extensômetro (0,01 mm);

K = constante dada pela relação de braços da viga Benkelman.

Nesse levantamento foram obtidas em cada estaca o valor da deflexão sobre o carregamento (D0).

O segundo levantamento das condições deflectométricas do pavimento, realizado em 2014, foi feito pela COPPE com o FWD (Figura 34), um equipamento de fabricação sueca modelo 8833 que aplica um carga entre 14 e 150 kN.

Figura 34 – FWD utilizado no levantamento deflectométrico



Fonte: Trichês (2014)

O ensaio consiste em aplicar uma carga de impacto em uma placa apoiada sobre a superfície do pavimento e realizar a leitura dos deslocamentos em sensores posicionados ao longo de um suporte, obtendo desta forma a linha de deslocamentos.

No trecho experimental de Itapoá, esse levantamento foi realizado a cada 20 metros nas duas faixas de rolamento, totalizando 42 bacias deflectométricas. Durante os ensaios com o FWD foram medidas as deflexões nos seguintes pontos: D0, D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7 e D8 distantes, respectivamente, 0, 20, 30, 45, 60, 90 e 120 cm do ponto de aplicação da carga. Além das deflexões, foram registra-

dos o diâmetro do prato, a carga aplicada, a temperatura do ar e a temperatura do pavimento.

4.2.2 Evolução das deflexões D0

Para avaliar a evolução das deflexões D0 foi necessário inicialmente, converter as deflexões medidas com o equipamento FWD em deflexões equivalentes da Viga Benkelman. Para isso, utilizou-se as correlações elaboradas por Borges (2001).

A estrutura Tipo I definida por Borges (2001) é a mais semelhante à estrutura do segmento de Itapoá, portanto será utilizada a correlação definida para essa estrutura, conforme equação 4.10.

$$D_{VB} = 1,202 * D_{FWD} - 1,087 \quad (4.10)$$

Após, a conversão é possível comparar os valores obtidos nos levantamentos realizados em 2011 e 2014.

Esses valores também foram comparados com a deflexão admissível (D_{adm}) calculada pela equação 4.11 do Método de dimensionamento de pavimentos TECNAPAV.

$$\log D_{adm} = 3,148 - 0,188 * \log N \quad (4.11)$$

4.2.3 Retroanálise das bacias deflectométricas

A partir dos resultados do levantamento deflectométrico de 2014, realizou-se a retroanálise das bacias de deflexão com o *software* BAKFAA.

Desenvolvido pela Federal Aviation Administration, autoridade nacional de aviação civil dos Estados Unidos, o BAKFAA é um programa de retroanálise criado com o intuito de atender as pistas utilizadas na aviação.

Na Figura 35, pode ser observada a tela de abertura do *software* BAKFAA, onde são inseridas todas as informações necessárias para realizar a retroanálise.

Para iniciar o uso do programa é preciso indicar no item *Units* a unidade que se deseja trabalhar. Nesta pesquisa, foi adotado a unidade *Metric*. Em seguida, devem ser fornecidos ao BAKFAA as deflexões (em μm) obtidas através do levantamento com FWD, a distância (em mm) de cada sensor ao ponto de aplicação da carga, o raio do prato de

Figura 35 – Tela de abertura do programa de retroanálise BAKFAA

BAKFAA - FAA Backcalculation (2.0.0.0) with LEAF (2003.6.11.0)

Layer Nbr	Young's Modulus, PSI	Poisson's Ratio	Interface Parameter (0 to 1.0)	Thickness, in	Layer Changeable
1	200,000	0,35	1,00	5,0000	<input type="checkbox"/>
2	75,000	0,35	1,00	8,0000	<input checked="" type="checkbox"/>
3	40,000	0,35	1,00	12,0000	<input checked="" type="checkbox"/>
4	9,000	0,35	1,00	95,0000	<input checked="" type="checkbox"/>
5	60,000	0,35	1,00	0,0000	<input type="checkbox"/>
6	0	0,00	0,00	0,0000	<input type="checkbox"/>
7	0	0,00	0,00	0,0000	<input type="checkbox"/>
8	0	0,00	0,00	0,0000	<input type="checkbox"/>
9	0	0,00	0,00	0,0000	<input type="checkbox"/>
10	0	0,00	0,00	0,0000	<input type="checkbox"/>

Sensor	1	2	3	4	5	6	7
Offset, in	-12,0	0,0	12,0	24,0	36,0	48,0	60,0
Defin, mil	21,04	31,37	17,58	11,25	8,17	5,91	4,33
Calc, mil							

☐ English ☐ Metric
 Load FWD File
 Convert to PDDX
 Load Structure
 Save Structure
 Backcalculate
 Stop Backcalculate
 Show Output
☐ Delete negative offset sensors

Iteration Tolerance: 0.0001
 Evaluation Depth, in: 25,0001
 Plate Radius, in: 5,91
 Plate Load, lb: 24,000
 Function RMS, mil:
 Iteration Number:
 Func RMS:
 Iter No:

Loaded Deflection, mil: 31,37
 Unloaded Deflection, mil:
 Calculated J.T.E, %:
 Approach Depart

Batch Graph Help Exit

Select All Clear All

Select Load and Run LEAF

aplicação da carga (em mm) e a carga aplicada (em kN).

Além disso, é necessário informar o coeficiente de Poisson, o parâmetro de condição de interface (plenamente aderida = 1,00) e a espessura (em mm) de cada camada, atribuindo valor zero para o subleito. O valor do módulo de resiliência deve ser estimado e inserido em MPa.

O item *Layer Changeable* deve ser selecionado nas camadas que serão analisadas. Quando se deseja fixar o valor do módulo de alguma camada esse item deve ser desabilitado. A caixa de seleção *Delete negative offset sensores* deve ser habilitada quando não houver leitura de sensores associados a localizações negativas, ou seja, sensores posicionados antes do ponto de aplicação da carga. O item *Evaluation Depth* permite especificar a profundidade na qual o *software* irá avaliar o pavimento.

A Figura 36 apresenta um exemplo de entrada de dados no *software* BAKFAA.

Figura 36 – Exemplo de entrada de dados no BAKFAA

BAKFAA - FAA Backcalculation (2.0.0.0) with LEAF (2003.6.11.0)

Layer Nbr	Young's Modulus, MPa	Poisson's Ratio	Interface Parameter (0 to 1.0)	Thickness, mm	Layer Changeable
1	6000	0,27	1,00	60,00	<input checked="" type="checkbox"/>
2	260	0,35	1,00	140,00	<input checked="" type="checkbox"/>
3	200	0,35	1,00	600,00	<input checked="" type="checkbox"/>
4	180	0,45	1,00	0,00	<input checked="" type="checkbox"/>
5	0,00	0,00	0,00	0,00	<input type="checkbox"/>
6	0,00	0,00	0,00	0,00	<input type="checkbox"/>
7	0,00	0,00	0,00	0,00	<input type="checkbox"/>
8	0,00	0,00	0,00	0,00	<input type="checkbox"/>
9	0,00	0,00	0,00	0,00	<input type="checkbox"/>
10	0,00	0,00	0,00	0,00	<input type="checkbox"/>

Units: ☐ English ☒ Metric

FWD File Type: No Distance Load

Buttons: Load FWD File, Convert to PDDX, Load Structure, Save Structure, Backcalculate, Stop Backcalculate, Show Output, Delete negative offset sensors (checked)

Sensor	1	2	3	4	5	6	7
Offset, mm	0	200	300	450	600	900	1200
Defln, mc	470	331	250	170	133	89	63
Calc, mc							

Iteration Tolerance: 0,0001 Evaluation Depth, mm: 0

Plate Radius, mm: 150,00 Plate Load, KN: 40,24

Function RMS, mc: Iteration Number: Iter No

Buttons: Select All, Clear All, Select Load and Run LEAF, Help, Exit

Loaded Deflection, mc: 796,80 Unloaded Deflection, mc: Calculated J.T.E, %

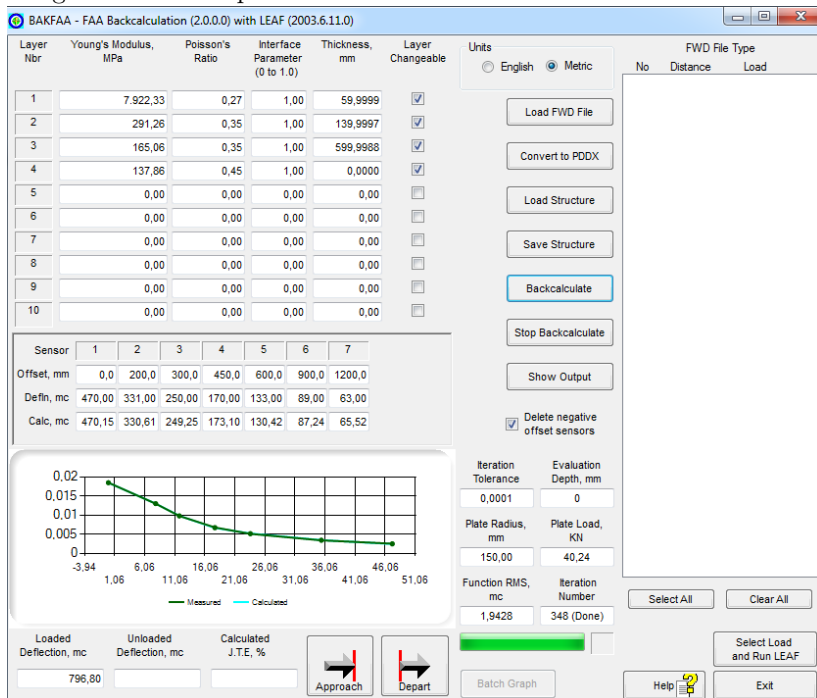
Buttons: Approach, Depart, Batch Graph

Após introduzir todos os dados basta clicar em *Backcalculate* para iniciar a retroanálise. Por fim, o programa apresentará como resultados as deflexões e os módulos calculados de modo iterativo, bem como um gráfico comparando as deflexões medidas em campo e as deflexões calculadas pelo programa. Como exemplo, tem-se a Figura 37 mostrando os resultados da retroanálise dos dados da Figura 36.

Avalia-se o erro através do valor quadrático médio RMS apresentado no item *Function RMS*. Quanto mais próximo de zero, menor é a diferença entre a bacia de deflexão calculada e a bacia de deflexão medida. LIVNEH (apud FERNANDES; TRICHÊS, 2000) indica que a máxima tolerância recomendada do erro quadrático médio é de 1 a 2%.

Em algumas estacas também foi calculado o erro relativo, através da equação 4.12, e comparado ao erro admissível exibido na Tabela 10

Figura 37 – Exemplo de resultado de retroanálise com o BAKFAA



$$\varepsilon(\%) = \left(\frac{d_m - d_c}{d_m} \right) * 100 \quad (4.12)$$

onde:

ε = erro calculado para o ajuste entre bacias medidas e calculadas;

d_m = deflexão medida;

d_c = deflexão calculada.

4.3 ETAPA 3 - ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL

Após obter os módulos de resiliência de cada camada do pavimento, com auxílio do *software* ELSYM5 foi calculada, para cada faixa de rolamento, a deformação específica de tração na face inferior do re-

Tabela 10 – Erro admissível

Sensores	Erro admissível (%)
D0	10
D20	10
D30	10
D45	10
D60	20
D90	20
D120	50

Fonte: Adaptado de Fernandes e Trichês (2000)

vestimento (ε_t). O valor obtido através do ELSYM5 permitiu estimar a vida útil do segmento de Itapoá por meio de dois modelos de fadiga.

4.3.1 Programa ELSYM5

O ELSYM5 é um programa computacional desenvolvido em linguagem científica FORTRAN na década de 1970 na Universidade da Califórnia, em Berkeley (DAROUS, 2003).

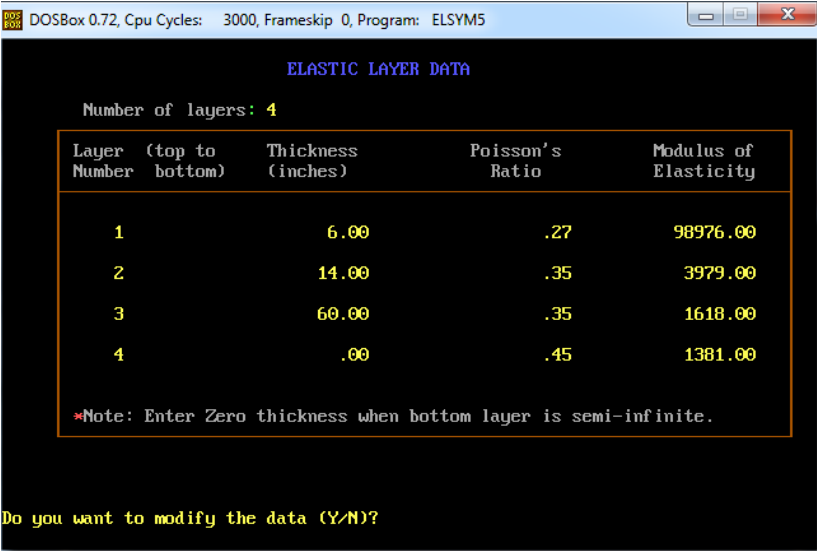
Segundo Silva (2001), o *software* calcula as componentes de tensões, deformações e deslocamentos em um sistema tridimensional considerado elástico. O carregamento imposto é considerado uniformemente distribuído sobre uma área circular na superfície do sistema. Para a utilização do ELSYM5 admite-se que cada camada é composta por materiais isotrópicos e homogêneos com comportamento elástico-linear, sendo válida a Lei de Hooke.

Neste trabalho, o ELSYM5 foi utilizado com o objetivo de obter a deformação específica de tração no fundo da camada asfáltica. Para aplicação do programa foram necessárias algumas informações que serão apresentadas a seguir.

A Figura 38, exibe a tela em que é feita a entrada de dados referente a caracterização das camadas que compõem o pavimento. Nela são inseridos o número de camadas (no máximo 5), a espessura, o coeficiente de Poisson e o módulo de resiliência de cada uma dessas camadas.

A magnitude da carga, a pressão da área de contato e o ponto de aplicação da carga devem ser informadas na tela mostrada na Figura

Figura 38 – Exemplo de tela para entrada do sistema de camadas do pavimento



39. A carga empregada corresponde aquela aplicada por uma roda do eixo padrão rodoviário de 8,2 tf, ou seja, 2050 kgf. Conhecendo-se a carga e supondo área de contato circular com raio de 10,8 cm, é possível obter a pressão da área de contato através da equação 4.13.

$$p = \frac{F}{A} \tag{4.13}$$

onde:

- p = pressão (Kgf/cm²);
- F = carga aplicada (Kgf);
- A = área (cm²).

Nessa tela também devem ser fornecidos o número de cargas e suas posições em um sistema de coordenadas planas de referência.

O próximo passo é informar ao *software* os pontos, coordenadas (x,y) e profundidade z, onde se deseja realizar a análise na estrutura, conforme exibido na Figura 40.

Por fim, o programa calcula as tensões, deformações e deslocamentos, no entanto, necessita-se apenas da deformação específica que

Figura 39 – Exemplo de tela para entrada do carregamento aplicado

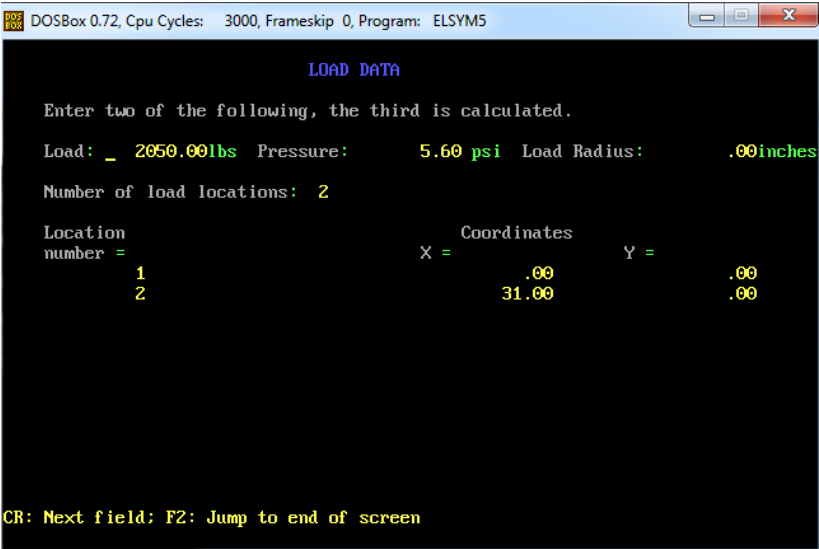
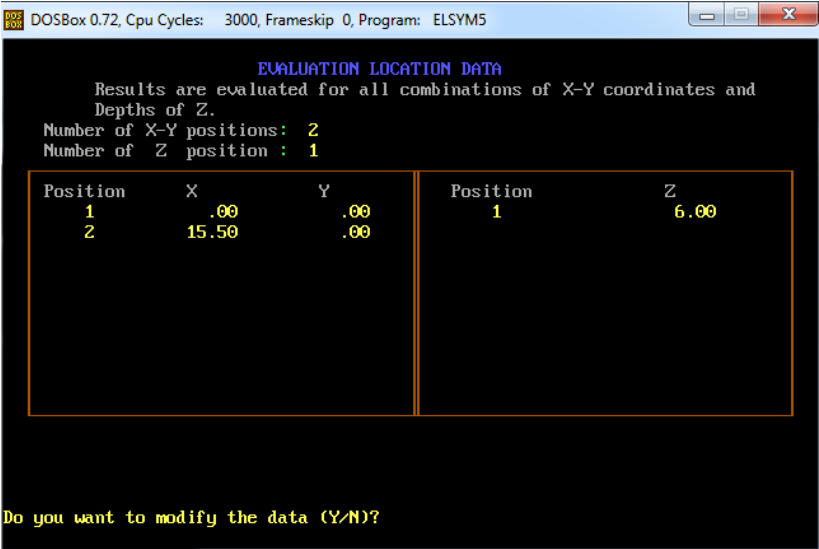
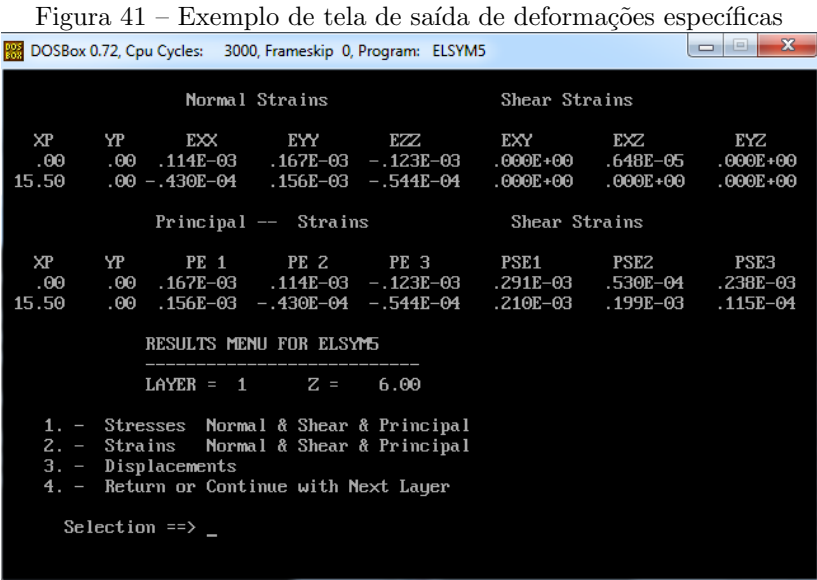


Figura 40 – Exemplo de tela para entrada dos pontos de análise desejados



é apresentada na tela da Figura 41.



4.3.1.1 Cálculo do número “N”

Para determinar o número N - Número de Repetições do Eixo Padrão de 8,2 tf, foram utilizados os dados do estudo de tráfego desenvolvido pela SOTEPa, com base na Instrução de Serviço IS-02 do DER/SC.

O Tráfego Médio Diário Anual (TMdA) para o ano de abertura da rodovia, que inicialmente era 2004, foi calculado a partir das contagens volumétricas classificatórias e pesquisas de origem e destino realizadas em junho de 2001. No valor da TMdA ainda foi considerado o tráfego que seria gerado com a implantação do Porto de Itapoá. A taxa de crescimento de tráfego adotada foi de 7,41% ao ano.

O número N foi calculado através da equação 4.14 para um período de projeto de 10 anos, considerando 2012 o ano de abertura ao tráfego.

$$N = 365 * F_p * F_r * \sum (V_i * F_i) \tag{4.14}$$

onde:

F_p = fator de pista (no caso de 2 faixas, $F_p = 0,5$);

F_r = fator climático (considerado igual a 1,0);

V_i = número de veículos da categoria “i”;

F_i = fator de equivalência de veículo da categoria “i”.

Os Fatores de Equivalência de Veículo (F_i) adotados corresponde aos concebidos pelo Corpo de Engenheiros do Exército Norte-Americano (USACE) e são exibidos na Tabela 11.

Tabela 11 – Fatores de Equivalência de Veículo (F_i) - Método USACE

Fator de veículo (F_{vi})	Veículo
0,000	Automóveis
0,790	Ônibus
1,149	Caminhões Simples
4,767	Caminhões Duplo
12,078	Reboque e Semi-reboque

Fonte: “As Built” SOTEPa (2012)

4.3.1.2 Estimativa da vida útil

Para estimar a vida útil do pavimento recorreu-se aos modelos de fadiga, para misturas de asfalto borracha, obtidos nos segmentos monitorados de Araranguá e Urubici.

Através da Tabela 12, verifica-se que os segmentos monitorados de Itapoá, Araranguá e Urubici apresentam diferentes teores de betume e apenas no segmento de Araranguá a faixa granulométrica é a mesma de Itapoá. No entanto, como pode ser observado na Tabela 13 a faixa de trabalho de Itapoá e Araranguá são diferentes.

Tabela 12 – Caracterização da mistura dos segmentos

	Itapoá	Araranguá	Urubici
Teor de betume (%)	6,10	5,40	5,80
Faixa granulométrica	Faixa B (DNIT)	Faixa B (DNIT)	Faixa C (DNIT)

Tabela 13 – Faixa de trabalho

Peneiras	Faixa de trabalho		
	Itapoá	Araranguá	Urubici
1 1/2"			
1"	100	100	
3/4"	100	93,0 - 100	100
1/2"	84,5 - 98,5		90 - 100
3/8"	77,9 - 90	57,3 - 71,3	81,9 - 93
1/4"			
Nº4	55,4 - 65,4	37,9 - 47,9	57,1 - 67,1
Nº 8	39 - 49		
Nº 10		20,1 - 30,1	30,2 - 40,2
Nº 16			
Nº 30	19 - 29		
Nº 40		10,0 - 16,5	12,3 - 22,3
Nº 50	13 - 22,5		
Nº 80		8,0 - 14,2	5,7 - 11,7
Nº 100	8 - 13,9		
Nº 200	5,2 - 9,2	5,3 - 9,3	4,2 - 8,2

Apesar disso, os modelos de fadiga dos segmentos de Araranguá e Urubici foram utilizados, pois até a realização desse trabalho ainda não havia um modelo de fadiga do trecho em estudo.

As equações 4.15 e equação 4.16 apresentam, respectivamente, os modelos de fadiga de Araranguá e Urubici.

$$N = 1,31x10^{17} * (1/\varepsilon_t)^{5,00} \quad (4.15)$$

$$N = 5,88x10^{18} * (1/\varepsilon_t)^{5,972} \quad (4.16)$$

onde:

ε_t = deformação específica de tração no fundo da camada de revestimento ($x10^{-6}$);

A deformação de tração aplicada nos modelos corresponde àquelas alcançadas com o *software* ELSYM5.

Os resultados foram expressos em termos de número de sollicitações equivalentes ao eixo padrão de 8,2 tf. Dessa forma, foi possível compará-los ao $N_{8,2 \text{ tf}}$ estimado para 2015 pelo estudo de tráfego.

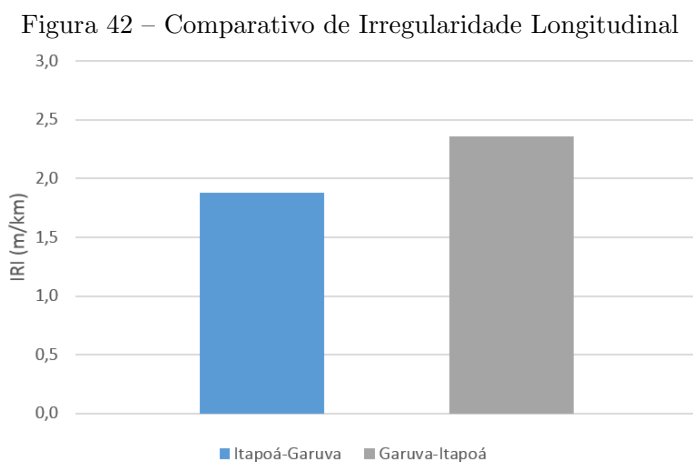
5 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

5.1 AVALIAÇÃO TEMPORAL DO ESTADO FUNCIONAL DO PAVIMENTO

5.1.1 Avaliação da Irregularidade Longitudinal

Para a análise do segmento quanto à irregularidade longitudinal foram utilizados os dados obtidos em 2014 através do levantamento com perfilômetro a laser. Para cada faixa de rolamento calculou-se a média, e o resultando é apresentado graficamente na Figura 42. No gráfico da Figura 43, encontram-se os valores de IRI levantados em cada estaca nas duas faixas de rolamento, bem como, os níveis de irregularidade estabelecidos no Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (BRASIL, 2006b) e o limite determinado pela ARTESP.

Com base no gráfico da Figura 42, verifica-se que a faixa Garuva-Itapoá apresenta um valor médio de IRI (2,36 m/km) superior ao da faixa Itapoá-Garuva (1,88 m/km). Esse resultado indica que o fluxo de veículos de carga, no trecho, é maior no sentido Garuva-Itapoá.

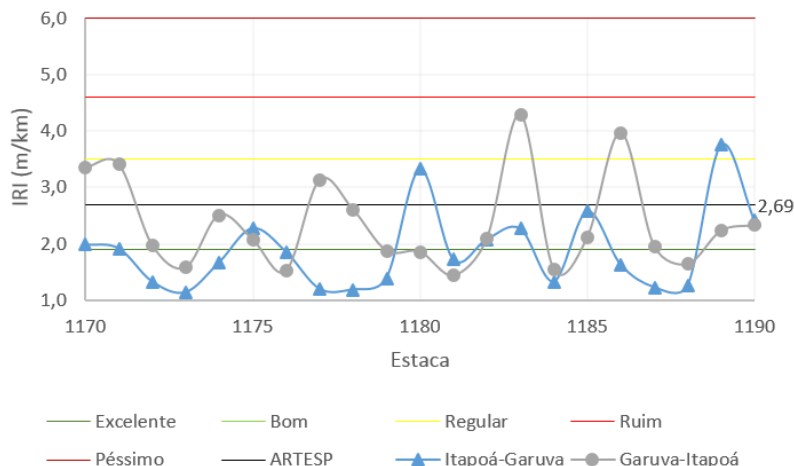


Fonte: Autoria própria

Do gráfico da Figura 43, pode-se inferir que as condições de irre-

gularidade longitudinal do trecho em estudo apresentam-se, em geral, entre regular e excelente. No entanto, ao comparar as medidas de IRI com o limite de aceitabilidade imposto pela ARTESP ($IRI \leq 2,69$ m/km), percebe-se que em alguns pontos isolados os valores de IRI estão acima desse limite.

Figura 43 – Índice de Irregularidade longitudinal do pavimento



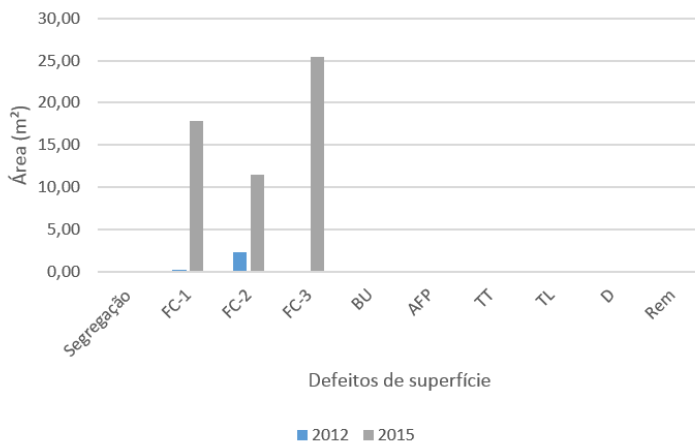
Fonte: Autoria própria

5.1.2 Avaliação da evolução temporal de patologias no pavimento

A análise da evolução das patologias ao longo do tempo foi realizada a partir das informações obtidas nos levantamentos de defeitos de 2012 e 2015. Com essas informações foram elaborados os gráficos das Figuras 44 e 45, que apresentam a área (em m²) que cada um dos defeitos ocupa nas faixas de rolamento. Já a Figura 46 mostra um gráfico com a área ocupada por cada patologia em cada um dos levantamentos.

A Figura 44, apresenta graficamente a evolução das patologias na faixa Itapoá-Garuva. Verifica-se com base nesse gráfico, que em um intervalo de 3 anos ocorreu um significativo aumento da área das patologias do tipo FC-1 e FC-2. As trincas do tipo FC-3, que em 2012 ainda não existiam foram constatadas em grande proporção em 2015.

Figura 44 – Evolução das patologias Itapoá-Garuva



Fonte: Autoria própria

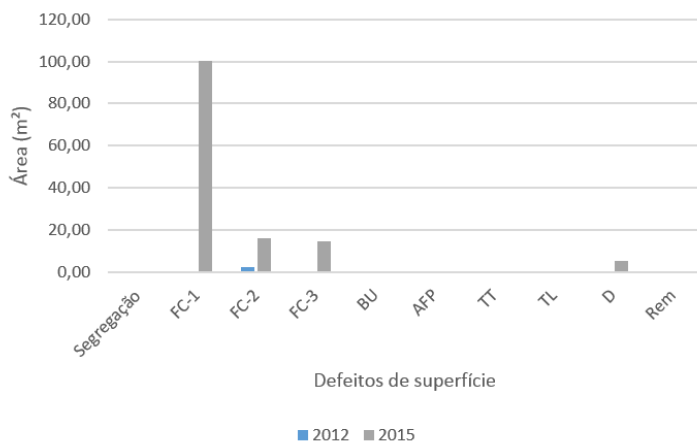
No gráfico da Figura 45 foi observada a evolução dos defeitos de superfície na faixa Garuva-Itapoá. Analisando o gráfico constatou-se que em 2012 existiam apenas patologias do tipo FC-2. No entanto, em 2015, além do aumento da área ocupada pelas patologias do tipo FC-2, foi observada uma considerável área atingida por defeitos do tipo FC-1, uma pequena extensão ocupada por trincas do tipo FC-3 e desgaste do pavimento.

Analisando o gráfico da Figura 46, que reuni todas as patologias identificadas em cada levantamento, foi verificado um demasiado aumento das trincas do tipo FC-1 entre os anos de 2012 e 2015. Também observa-se, entre um levantamento e outro, que ocorreu um aumento da área ocupada pela patologias do tipo FC-2. Vale ainda ressaltar que no levantamento de 2015 foram constatadas trincas do tipo FC-3 e desgaste do pavimento.

Produziu-se ainda, com os dados de 2015, os gráficos das Figuras 47 e 48, que apresentam a porcentagem de área trincada em relação a área total de cada faixa de tráfego, e os gráficos das Figuras 49 e 50 onde observa-se a porcentagem de trincamento considerando que as patologias encontram-se apenas nas trilhas de roda.

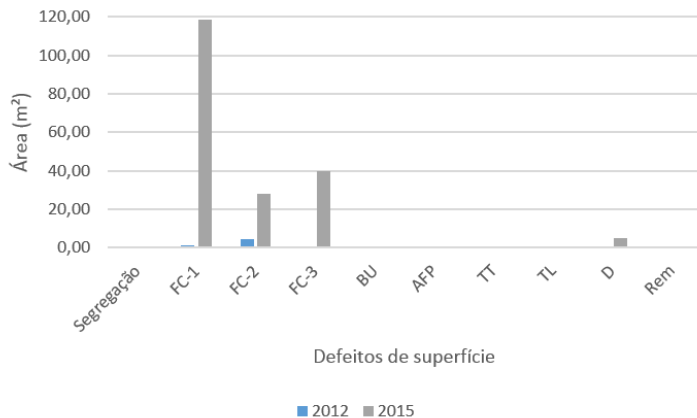
Analisando os gráficos das Figuras 47 e 48, percebe-se que na faixa Garuva-Itapoá há uma maior ocorrência de trincamento do que na faixa Itapoá-Garuva, sendo que esse defeito já atingem 10% da su-

Figura 45 – Evolução das patologias Garuva-Itapoá



Fonte: Autoria própria

Figura 46 – Evolução das patologias - Total

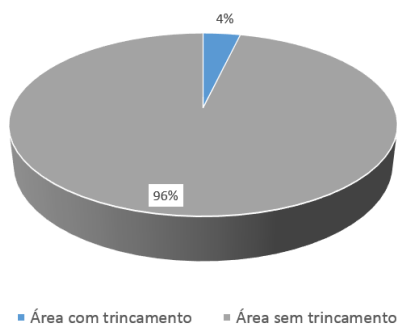


Fonte: Autoria própria

perície do pavimento.

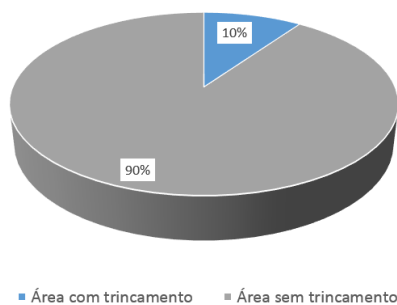
Como a área mais atingida pelos trincamentos encontra-se ao longo das trilhas de roda, foram elaborados os gráficos das Figuras 49 e 50, considerado somente a área das trilhas de roda. Nota-se nesses gráficos, que a faixa Garuva-Itapoá continua com maior área trincada

Figura 47 – Porcentagem de área trincada em relação a área da faixa Itapoá-Garuva



Fonte: Autoria própria

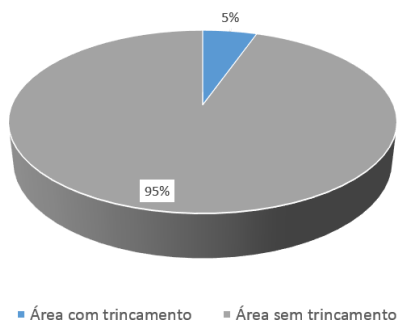
Figura 48 – Porcentagem de área trincada em relação a área da faixa Garuva-Itapoá



Fonte: Autoria própria

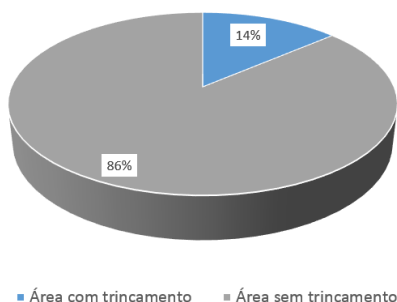
comparada a faixa contrária. Entretanto, foi verificado nas duas faixas de rolamento, um aumento da porcentagem de superfície trincada quando considerado somente a área das trilhas de roda.

Figura 49 – Porcentagem de área trincada em relação a área da trilha de roda da faixa Itapoá-Garuva



Fonte: Autoria própria

Figura 50 – Porcentagem de área trincada em relação a área da trilha de roda da faixa Garuva-Itapoá



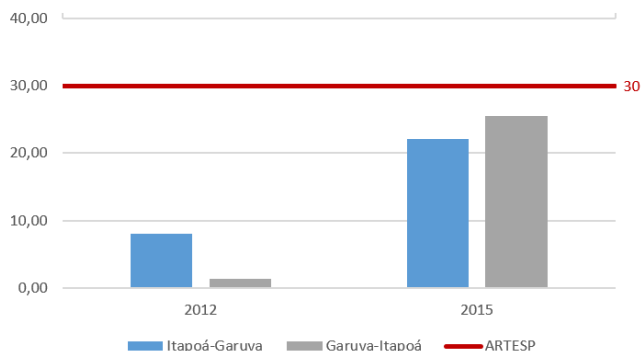
Fonte: Autoria própria

5.1.3 Avaliação objetiva de superfície pela determinação do IGG

A condição de superfície do pavimento também foi analisada através do IGG, calculado com base nos levantamentos de defeitos realizados em 2012 e 2015. Os resultados foram plotados no gráfico apresentado na Figura 51, em seguida, classificados segundo a Tabela 4 e comparados com o limite imposto pela ARTESP ($IGG \leq 30$).

Verifica-se na Figura 51, que no ano de 2012 a faixa Itapoá-

Figura 51 – Índice de Gravidade Global



Fonte: Autoria própria

Garuva apresentou IGG superior ao da faixa Garuva-Itapoá, no entanto a condição superficial nas duas faixas de rolamento foi classificada como ótima. Já em 2015, a condição do pavimento em função do IGG foi definida como boa nos dois lados da pista, porém a faixa Garuva-Itapoá apresentou um valor de IGG maior do que a faixa no sentido contrário.

Pode-se ainda destacar que tanto em 2012 quanto em 2015 os valores de IGG nas duas faixas de rolamento não ultrapassaram o limite que a ARTESP estabelece.

5.1.4 Avaliação da Aderência Pneu-Pavimento

A avaliação da aderência pneu-pavimento foi realizada com os dados levantados em 2014 e 2015. Essa análise ocorreu a partir da avaliação da microtextura, da macrotextura e do IFI.

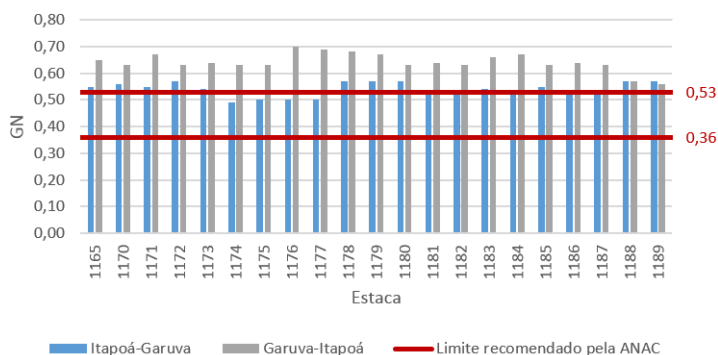
5.1.4.1 Avaliação quanto à microtextura

Para a avaliação da microtextura foram elaborados os gráficos mostrados nas Figuras 52 e 53. Esses apresentam, respectivamente, os valores de microtextura, em cada faixa de rolamento, medidos em 2014 com o Grip Tester e em 2015 com o Pêndulo Britânico.

Analizando a Figura 52, observa-se que no ano de 2014 a faixa

Garuva-Itapoá apresentava, em geral, valores entre 0,60 e 0,70. Já na faixa Itapoá-Garuva os valores ficaram entre 0,50 e 0,60, ou seja, inferiores aos valores da faixa contrária. Comparando esses resultados com o limite recomendado pela ANAC, verifica-se que em 2014 o segmento apresentou bons resultados quanto a microtextura.

Figura 52 – Comparação dos valores de microtextura em 2014



Fonte: Autoria própria

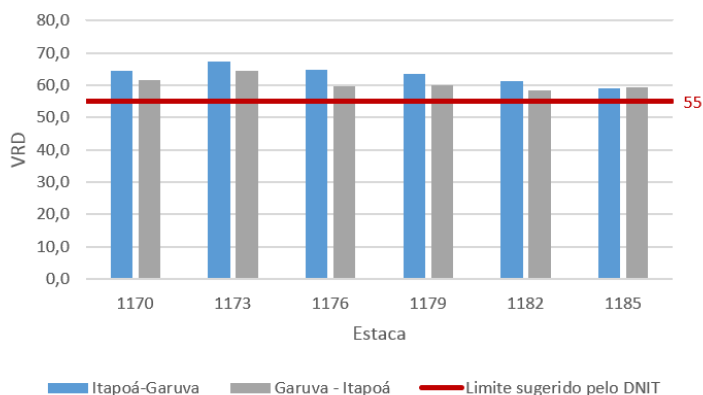
No gráfico da Figura 53, foi verificado que em 2015 os valores de microtextura são maiores na faixa Itapoá-Garuva, no entanto, as duas faixas se classificam com microtextura rugosa. A Figura 53 ainda indica, que os valores de microtextura nas duas faixa de rolamento encontram-se acima o limite sugerido por Brasil (2006b) ($VRD \geq 55$).

5.1.4.2 Avaliação quanto à macrotextura

A avaliação da macrotextura foi realizada a partir dos dados obtidos no ensaio de Mancha de Areia. Os valores de altura de areia (Hs) medidos em 2014 e 2015 são apresentados graficamente nas Figuras 54 e 55, respectivamente.

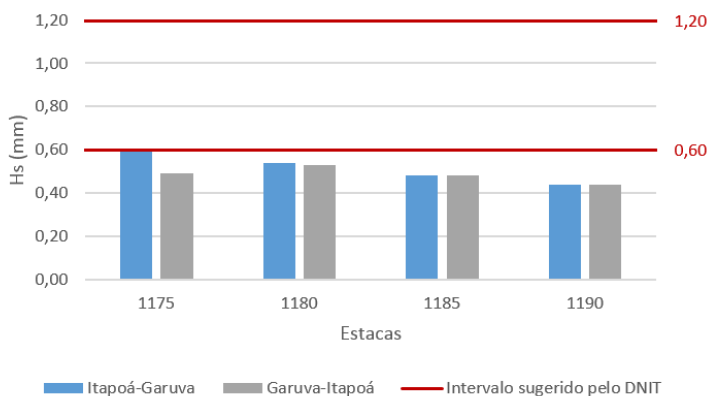
De acordo com a Figura 54, em 2014 a macrotextura nas duas faixas de rolamento se classificou com textura superficial média, porém a faixa Itapoá-Garuva apresentou valores superiores ao da faixa Garuva-Itapoá. Através desse gráfico também foi verificado que as medidas de macrotextura ficaram abaixo do intervalo de valores sugerido por Brasil (2006b) ($0,6 \text{ mm} < HS < 1,2 \text{ mm}$).

Figura 53 – Comparação dos valores de microtextura em 2015



Fonte: Autoria própria

Figura 54 – Comparação dos valores de macrotextura em 2014



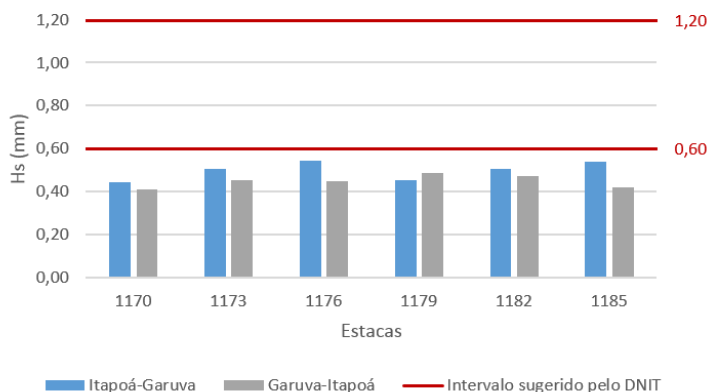
Fonte:

Autoria própria

Na análise do gráfico da Figura 55, observa-se que a faixa de rolamento Itapoá-Garuva apresenta, em 2015, valores de macrotextura superiores ao da faixa no sentido contrário. Apenas na estaca 1179 o valor de macrotextura é maior na faixa Garuva-Itapoá. Também é possível notar, que as medidas de altura de areia nas duas faixas de

rolamento situam-se entre 0,40 e 0,60, portanto, a macrotextura se classifica como média. Vale ainda ressaltar que as medidas de macrotextura continuaram abaixo do intervalo recomendado pelo DNIT.

Figura 55 – Comparação dos valores de macrotextura em 2015



Fonte:

Autoria própria

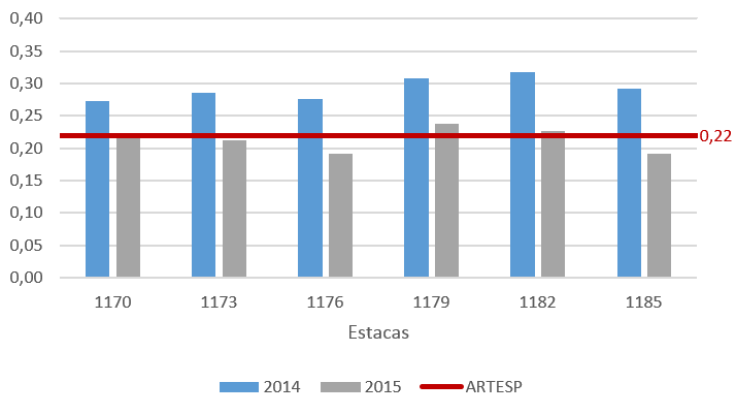
5.1.4.3 Avaliação quanto ao IFI

Para a avaliação da aderência pneu-pavimento através do IFI, foram utilizadas as medidas de microtextura e macrotextura das estacas 1170, 1173, 1176, 1179, 1182 e 1185, pois nessas estacas haviam os dados necessários para se realizar um comparação entre os anos de 2014 e 2015. Apenas o ensaio de Mancha de Areia de 2014 não possuía todas as medidas exatamente nas estacas desejadas, por isso, foi utilizado o valor de altura de areia da estaca imediatamente anterior. Após o cálculo do IFI, elaborou-se os gráficos apresentados nas Figuras 56 e 57, onde é possível comparar os valores de IFI, em cada faixa de rolamento, nos anos de 2014 e 2015.

A Figura 56, apresenta graficamente os valor de IFI nos anos de 2014 e 2015 na faixa Itapóá-Garuva. Observa-se nesse gráfico, que em 2014 o IFI da referida faixa de rolamento se classificou como muito bom, porém no ano seguinte houve uma redução do índice, e nas estacas 1173, 1176 e 1185 o IFI foi classificado como bom. Comparando os valores de IFI calculados, com o limite estabelecido pela ARTESP ($IFI \geq 0,22$)

verifica-se que, atualmente (2015), somente as estacas 1179 e 1182 estão acima desse limite.

Figura 56 – Comparação dos valores de IFI (Itapoá-Garuva)



Fonte: Autoria própria

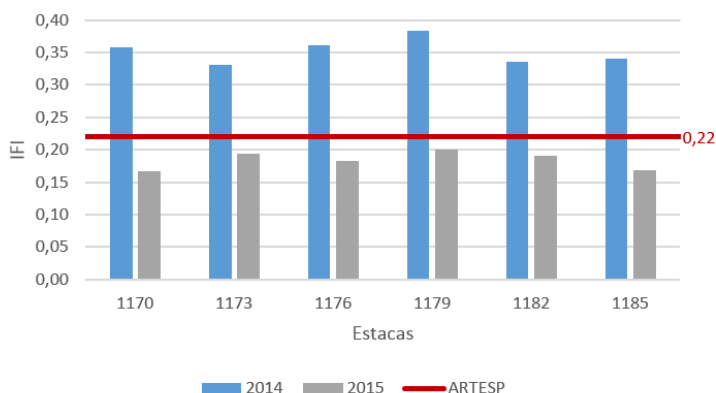
O gráfico apresentado na Figura 57 mostra os valores de IFI em 2014 e 2015 na faixa Garuva-Itapoá. Analisando o gráfico constatou-se que em apenas um ano ocorreu uma grande redução dos valores do IFI nessa faixa de tráfego. Em 2014, nas estacas calculadas, o IFI se classificava de muito bom a ótimo, já em 2015 o índice passou a se classificar como bom em todas as estacas. Nota-se ainda, que o IFI calculado neste ano encontra-se abaixo do limite determinado pela ARTESP.

5.1.5 Avaliação de Afundamento de trilha de roda

Para realizar a análise de afundamento de trilha de roda as informações coletadas foram divididas em cinco categorias: $ATR < 2$ mm, $2 \text{ mm} \leq ATR < 4$ mm, $4 \text{ mm} \leq ATR < 6$ mm, $6 \text{ mm} \leq ATR < 8$ mm e $8 \text{ mm} \leq ATR \leq 10$ mm. Em seguida, foram elaborados os gráficos das figuras 58, 59, 60 e 61 que mostram o percentual de ocorrência de cada categoria nas duas faixas de rolamento, nos anos em que foram realizados os levantamentos.

No gráfico da figura 58, produzido a partir dos dados levantados com a treliça metálica em 2012, se observa que naquele ano predomina-

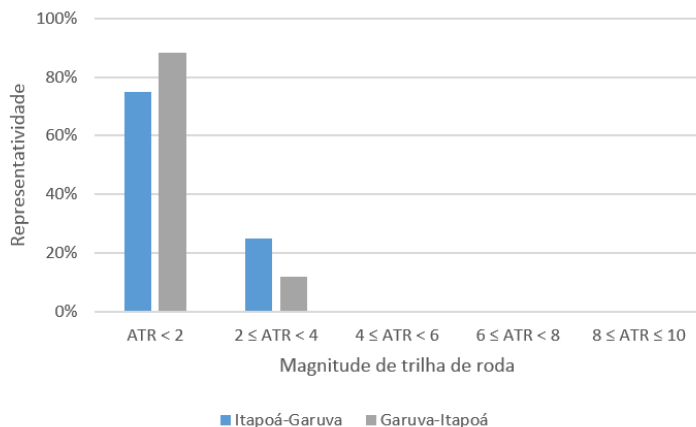
Figura 57 – Comparação dos valores de IFI (Garuva-Itapoá)



Fonte: Autoria própria

vam os afundamentos de trilha de roda menores que 2 mm, sendo que havia uma maior ocorrência dessa categoria na faixa Garuva-Itapoá. Também foram verificados afundamento de trilha de roda da categoria $2 \text{ mm} \leq \text{ATR} < 4 \text{ mm}$, com maior percentual na faixa Itapoá-Garuva.

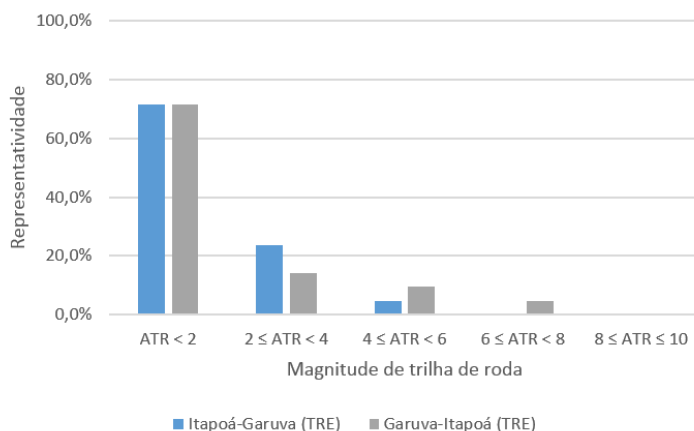
Figura 58 – Afundamento de Trilha de Roda Externa medido com Treliça Metálica (2012)



Fonte: Autoria própria

As Figuras 59 e 60, apresentam, respectivamente, os gráficos de afundamento de trilha de roda externa e interna levantados em 2014 com o Perfilômetro a Laser. Ao analisar o gráfico da Figura 59, constatou-se que os dois lados da pista apresentavam o mesmo percentual de afundamento de trilha de roda da categoria $ATR < 2$ mm. Verifica-se também que o afundamento de trilha de roda da categoria $2 \text{ mm} \leq ATR < 4 \text{ mm}$ continuou sendo maior na faixa de rolamento Itapoá-Garuva. Pode-se, ainda, ressaltar o aparecimento de afundamento de trilha de roda das categorias $4 \text{ mm} \leq ATR < 6 \text{ mm}$ e $6 \text{ mm} \leq ATR < 8 \text{ mm}$, sendo que os da categoria $6 \text{ mm} \leq ATR < 8 \text{ mm}$ foram encontrados apenas na faixa Garuva-Itapoá.

Figura 59 – Afundamento de trilha de Roda Externa medido com Perfilômetro Laser (2014)

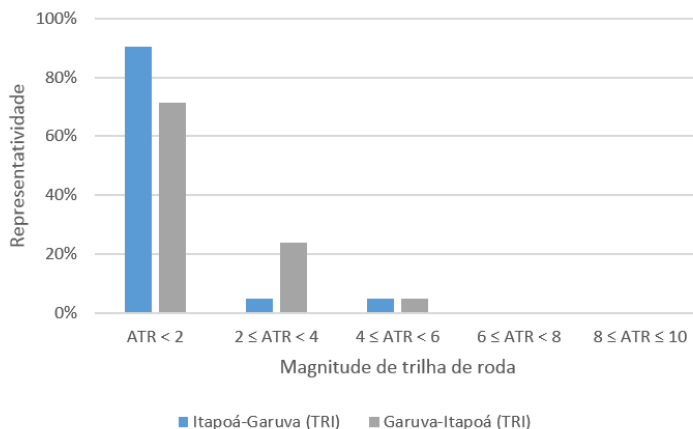


Fonte: Autoria própria

No gráfico da Figura 60, destacam-se os afundamentos de trilha de roda inferiores a 2 mm, sendo que a maior ocorrência dessa categoria se encontra na faixa Garuva-Itapoá. Também foram observados afundamentos de trilha de roda das categorias $2 \text{ mm} \leq ATR < 4 \text{ mm}$ e $4 \text{ mm} \leq ATR < 6 \text{ mm}$ nas duas faixas de rolamento, com maior incidência da categoria $2 \text{ mm} \leq ATR < 4 \text{ mm}$ na faixa Garuva-Itapoá.

Em 2015, o afundamento de trilha de roda foi medido com a treliza metálica. A partir dos dados levantados elaborou-se o gráfico apresentado na Figura 61. Nesse gráfico percebe-se que a faixa Garuva-Itapoá apresenta afundamentos de trilha de roda superiores a 2 mm, já na faixa no sentido contrário ainda se verificam afundamentos de trilha

Figura 60 – Afundamento de trilha de Roda Interna medido com Perfilômetro Laser (2014)



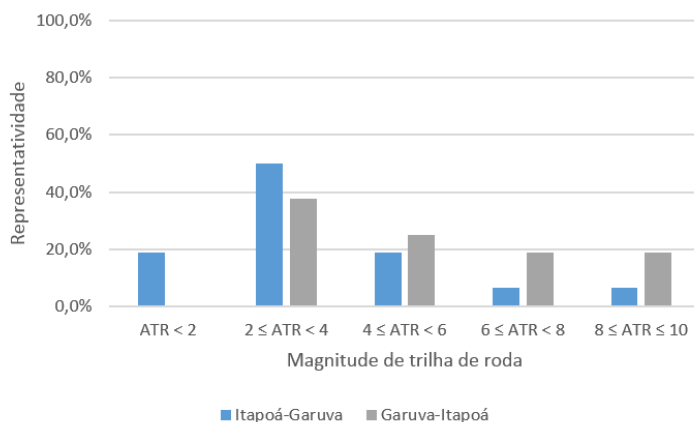
Fonte: Autoria própria

de roda inferiores a 2 mm. Pode-se também destacar o surgimento de afundamentos de trilha de roda da categoria $6 \text{ mm} \leq ATR < 8 \text{ mm}$ na faixa Itapoá-Garuva e da categoria $8 \text{ mm} \leq ATR \leq 10 \text{ mm}$ nas duas faixas de rolamento.

Por fim, foram preparados os gráficos mostrados nas Figuras 62 e 63, onde observa-se a evolução do afundamento de trilha de roda em cada faixa de rolamento. Foi verificado nos dois gráfico que em 2012 e em 2014 a categoria $ATR < 2 \text{ mm}$ apresentava um significativo percentual, ou seja, predominavam os afundamentos de trilha de roda inferiores a 2 mm. No entanto, em 2015 ocorreu uma considerável redução no percentual dessa categoria na faixa Itapoá-Garuva, e na faixa contrária não foram mais detectados afundamentos de trilha de roda abaixo de 2 mm. Também é possível observar o aparecimento, ao longo dos anos, das categorias com maiores profundidades de trilha de roda.

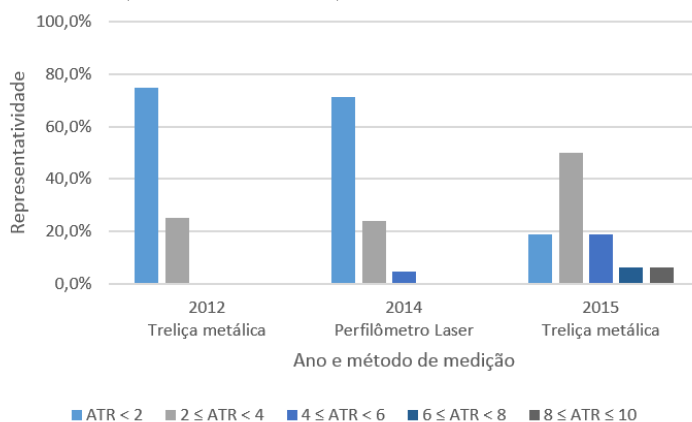
Comparando os resultados com o limite estabelecido pela AR-TESP ($ATR \leq 7 \text{ mm}$), se verifica que a faixa Itapoá-Garuva apresentou flechas superiores a 7 mm apenas no ano de 2015. Já a faixa Garuva-Itapoá, manifestou afundamentos de trilha de roda superiores a 7 mm em 2014 e em 2015.

Figura 61 – Afundamento de Trilha de Roda Externa medido com Treliça Metálica (2015)



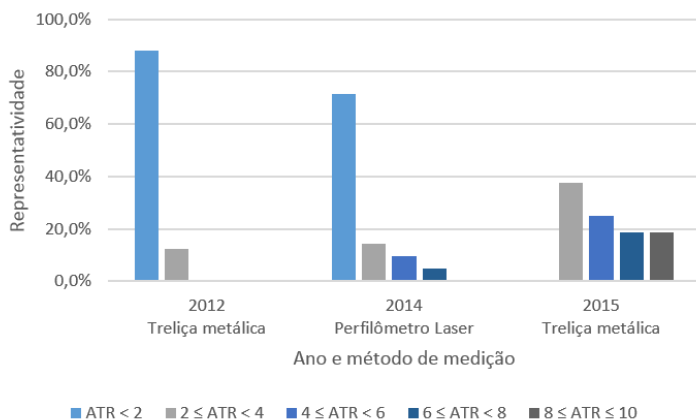
Fonte: Autoria própria

Figura 62 – Comparativo de Afundamentos de Trilha de Roda Externa Itapoá-Garuva (2012, 2014 e 2015)



Fonte: Autoria própria

Figura 63 – Comparativo de Afundamentos de Trilha de Roda Externa Garuva-Itapoá (2012, 2014 e 2015)



Fonte: Autoria própria

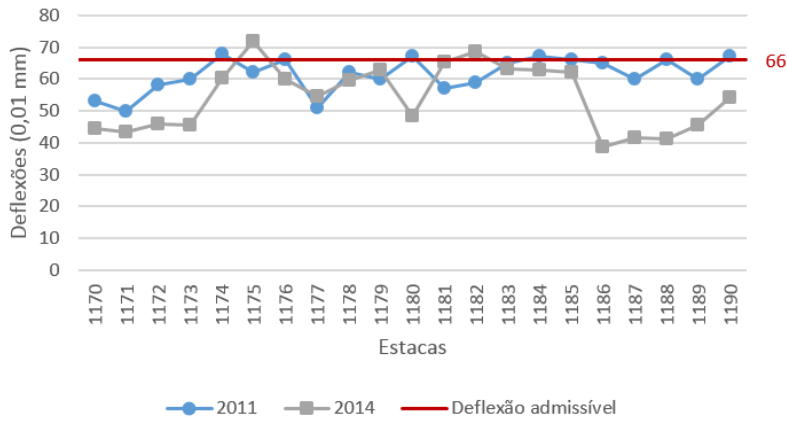
5.2 AVALIAÇÃO TEMPORAL DA CONDIÇÃO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO

5.2.1 Evolução de deflexões

Para avaliar a evolução das deflexões utilizou-se os dados coletados nos levantamentos deflectométricos de 2011, medido com viga Benkelman, e 2014, medido com FWD. Como esses levantamentos foram realizados com equipamentos que fornecem medidas diferentes, para comparar seus resultados houve a necessidade de recorrer as correlações entre FWD e viga Benkelman desenvolvidos por Borges (2001). Utilizando a correlação da estrutura Tipo I de Borges (2001), transformou-se as deflexões obtidas com emprego do FWD em deflexões equivalentes da viga Benkelman.

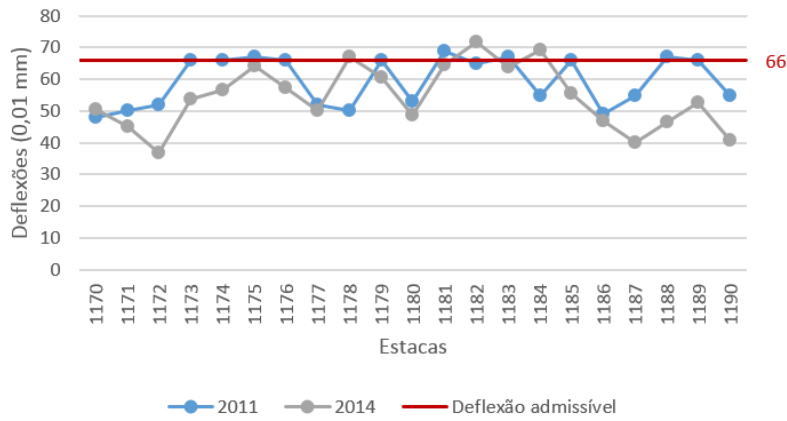
A Figura 64 exhibe a comparação das deflexões na faixa Itapoá-Garuva. Analisando o gráfico, verifica-se que os valores de deflexão medidos em 2011 são, em geral, superiores aos medidos em 2014. A mesma situação é observada na faixa Garuva-Itapoá apresentada no gráfico da Figura 65. Essa diminuição da deflexão em alguns pontos explica-se pelo fato do pavimentos sofrer uma consolidação adicional nos primeiros anos, provocada pela ação do tráfego.

Figura 64 – Comparativo de Deflexões (D0) na faixa Itapoá-Garuva



Fonte: Autoria própria

Figura 65 – Comparativo de Deflexões (D0) na faixa Garuva-Itapoá



Fonte: Autoria própria

Ao comparar as deflexões medidas com a deflexão admissível ($D_{adm} = 66$), observa-se que nas duas faixas de rolamento existem

alguns pontos que se encontram acima desse valor, sobretudo, medidas de deflexão levantadas em 2011.

5.2.1.1 Retroanálise

O módulo de resiliência, de cada camada do pavimento, foi calculado iterativamente por meio da retroanálise das bacias de deformação medidas em 2014 com o equipamento FWD.

No processo de retroanálise, os módulos de resiliência introduzidos no *software* BAKFAA foram estimados, e o coeficiente de Poisson adotado corresponde ao do tipo de material empregado em cada camada. A Tabela 14 apresenta os módulos de resiliência e coeficientes de Poisson aplicados como dados de entrada no programa.

Tabela 14 – Dados de entrada

Camada	Módulo de Resiliência estimado (MPa)	Coefficiente de Poisson
Revestimento	6000	0,27
Base	260	0,35
Sub-base	200	0,35
Subleito	180	0,45

Fonte: Autoria própria

Após realizar a retroanálise das 42 bacias de deflexões calculou-se, para cada faixa de rolamento, a média aritmética dos módulos de cada camada. O resultado pode ser observado na Tabela 15.

Tabela 15 – Resultado da retroanálise

Camada	Módulo de Resiliência (MPa)	
	Itapoá-Garuva	Garuva-Itapoá
Revestimento	8989	9898
Base	447	398
Sub-base	154	162
Subleito	139	138

Fonte: Autoria própria

A análise do erro feita através do valor quadrático médio (RMS) mostrou que, em geral, este apresentou valores entre 1 e 5, portanto alguns valores estão acima do valor recomendado(entre 1 e 2 %). Para

complementar essa avaliação também foi analisado o erro relativo em algumas estacas, conforme consta nas Figuras 66 e 67.

Figura 66 – Erro Relativo faixa Itapoá-Garuva

Estaca	RMS		D0	D20	D30	D45	D60	D90	D120
1173	2,1987	Deflexão medida (μc)	388,00	284,00	220,00	156,00	124,00	87,00	60,00
		Deflexão calculada (μc)	388,32	283,04	220,05	158,58	122,28	83,65	63,46
		Erro relativo	-0,08%	0,34%	-0,02%	-1,65%	1,39%	3,85%	-5,77%
1177	3,1316	Deflexão medida (μc)	462,00	342,00	261,00	179,00	137,00	86,00	57,00
		Deflexão calculada (μc)	464,19	336,93	261,11	184,24	135,86	83,31	58,46
		Erro relativo	-0,47%	1,48%	-0,04%	-2,93%	0,83%	3,13%	-2,56%
1183	11,7736	Deflexão medida (μc)	535,00	406,00	339,00	261,00	210,00	131,00	77,00
		Deflexão calculada (μc)	526,88	420,04	343,59	254,25	194,53	129,22	96,95
		Erro relativo	1,52%	-3,46%	-1,35%	2,59%	7,37%	1,36%	-25,91%
1184	4,4519	Deflexão medida (μc)	532,00	406,00	318,00	217,00	169,00	115,00	75,00
		Deflexão calculada (μc)	533,36	402,93	316,51	223,97	166,91	108,14	80,03
		Erro relativo	-0,26%	0,76%	0,47%	-3,21%	1,24%	5,97%	-6,71%
1188	1,1239	Deflexão medida (μc)	351,00	239,00	172,00	120,00	94,00	67,00	51,00
		Deflexão calculada (μc)	351,39	237,34	173,95	119,90	92,97	66,65	51,98
		Erro relativo	-0,11%	0,69%	-1,13%	0,08%	1,10%	0,52%	-1,92%

Fonte: Autoria própria

Observa-se, a partir desses quadros que, geralmente, quanto maior o valor do RMS maior é o erro relativo em cada sensor. Também foi verificado que os erros relativos calculados não ultrapassaram os limites estabelecidos (Tabela 10).

5.3 ESTIMATIVA DA VIDA ÚTIL

A estimativa da vida útil do pavimento executado em termos de número $N_{8,2 \text{ tf}}$, foi realizada com base nos dados levantados no estudo de tráfego e análise mecanicista da estrutura.

Na Tabela 16 apresenta-se a solicitação do tráfego em termos de número de repetições do eixo padrão de 8,2 tf ($N_{8,2 \text{ tf}}$) para um período de 10 anos, iniciando no ano de abertura ao tráfego. Verifica-se que o número N acumulado neste período é de $1,16 \times 10^7$.

A Tabela 17 foi elaborada a fim de obter o $N_{8,2 \text{ tf}}$ atual para compará-lo ao número N que será calculado pelos modelos de fadiga.

Sendo assim, o $N_{8,2 \text{ tf}}$ acumulado no início de 2015 é de $3,14 \times 10^6$.

Com os módulos de resiliência obtidos por meio do BAKFAA

Figura 67 – Erro Relativo faixa Garuva-Itapoá

Estaca	RMS		D0	D20	D30	D45	D60	D90	D120
1170	2,8934	Deflexão medida (μc)	430,00	284,00	202,00	128,00	99,00	69,00	44,00
		Deflexão calculada (μc)	430,29	283,44	201,42	131,20	96,59	64,82	48,94
		Erro relativo	0,07%	0,20%	0,29%	2,50%	2,43%	6,06%	11,23%
1178	5,0363	Deflexão medida (μc)	568,00	450,00	368,00	272,00	218,00	151,00	97,00
		Deflexão calculada (μc)	570,01	445,47	366,69	279,10	217,72	142,64	102,56
		Erro relativo	0,35%	1,01%	0,36%	2,61%	0,13%	5,54%	5,73%
1183	6,9215	Deflexão medida (μc)	541,00	419,00	341,00	246,00	192,00	127,00	79,00
		Deflexão calculada (μc)	537,80	424,29	341,88	245,78	183,70	121,38	93,00
		Erro relativo	0,59%	1,26%	0,26%	0,09%	4,32%	4,43%	17,72%
1187	1,5913	Deflexão medida (μc)	341,00	241,00	176,00	113,00	84,00	53,00	36,00
		Deflexão calculada (μc)	341,48	239,61	176,47	115,23	81,91	51,62	38,03
		Erro relativo	0,14%	0,58%	0,27%	1,97%	2,49%	2,60%	5,64%
1190	0,8921	Deflexão medida (μc)	348,00	249,00	195,00	141,00	113,00	77,00	58,00
		Deflexão calculada (μc)	347,98	249,19	194,29	142,62	111,51	76,99	58,46
		Erro relativo	0,01%	0,08%	0,36%	1,15%	1,32%	0,01%	0,79%

Fonte: Autoria própria

Tabela 16 – $N_{8,2 \text{ tf}}$

Ano	Número "N"	
	Anual	Acumulado
2012	8,68E+05	8,68E+05
2013	9,34E+05	1,80E+06
2014	9,92E+05	2,79E+06
2015	1,05E+06	3,84E+06
2016	1,11E+06	4,96E+06
2017	1,18E+06	6,14E+06
2018	1,25E+06	7,39E+06
2019	1,33E+06	8,71E+06
2020	1,41E+06	1,01E+07
2021	1,49E+06	1,16E+07

Fonte: Autoria própria

calculou-se a deformação específica de tração no fundo da camada asfáltica a partir do programa ELSYM5. A espessura das camadas e coeficientes de Poisson inseridos no ELSYM5 são os mesmos utilizados

Tabela 17 – $N_{8,2 \text{ tf}}$ atual

Ano	Número "N"	
	Anual	Acumulado
2012	8,68E+05	8,68E+05
2013	9,34E+05	1,80E+06
2014	9,92E+05	2,79E+06
2015	3,50E+05	3,14E+06

Fonte: Autoria própria

na retroanálise.

A Tabela 18 apresenta os valores de deformação de tração na extremidade inferior do revestimento, encontrados por meio do programa ELSYM5.

Tabela 18 – Resultados de deformação de tração ELSYM5

Faixa	ϵ_t ($\times 10^6$)
Garuva-Itapoá	167
Itapoá-Garuva	165

Fonte: Autoria própria

Verifica-se na Tabela 18, que a faixa Garuva-Itapoá obteve um valor de deformação de tração maior do que a faixa Itapoá-Garuva. Esse resultado já era esperado, pois a faixa Garuva-Itapoá é a mais solicitada devido a passagem de caminhões carregados em direção ao porto de Itapoá.

Com base nas deformações de tração alcançadas na simulação numérica e a partir dos modelos de fadiga para as misturas de asfalto borracha aplicadas nos segmentos monitorados de Araranguá e Urubici, conduziu-se a estimativa da vida útil.

O resultado é apresentado na Tabela 19 em termos de número de solicitações equivalentes ao eixo padrão de 8,2 tf.

Com os dados das Tabelas 16, 17 e 19 foram elaborados os gráficos apresentados nas Figuras 68 e 69. Analisando os gráficos pode-se inferir que a estimativa de vida útil é maior na faixa Itapoá-Garuva, independente do modelo de fadiga utilizado. No entanto, o resultado de vida útil em termos de número de solicitações equivalentes ao eixo de 8,2 tf, já encontra-se abaixo do $N_{8,2 \text{ tf}}$ obtido pelo estudos de tráfego para o ano de 2015 ($N_{8,2 \text{ tf}} = 3,14 \times 10^6$). Desta forma, conclui-se que a

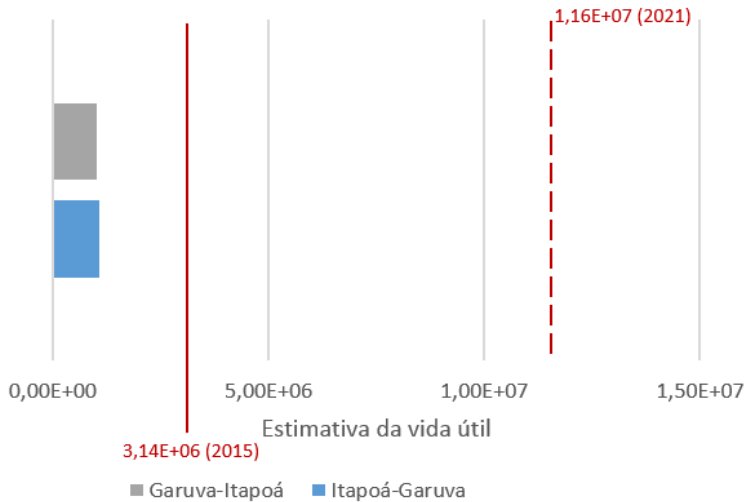
Tabela 19 – Resultados de vida à fadiga

Modelo de Araranguá		Modelo de Urubici	
Garuva-Itapoá	Itapoá-Garuva	Garuva-Itapoá	Itapoá-Garuva
1,01E+06	1,07E+06	3,13E+05	3,36E+05

Fonte: Autoria própria

estrutura executada não atente mais o tráfego atuante em 2015.

Figura 68 – Vida à fadiga - Modelo de Araranguá



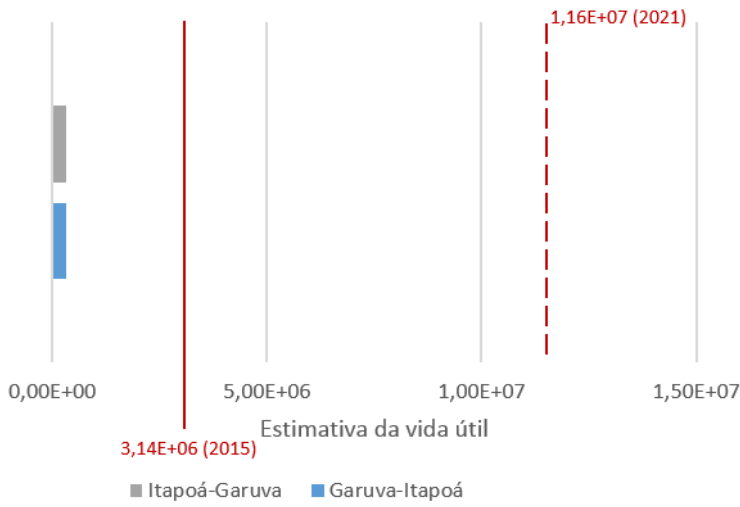
Fonte: Autoria própria

5.4 ESTRUTURA NECESSÁRIA PARA ATENDER AO N DE PROJETO

A fim de determinar a espessura de revestimento necessária para atender ao N de projeto, foram propostas três alternativas de espessura: 10 cm, 12 cm e 15 cm. Para cada alternativa proposta calculou-se a deformação específica de tração no fundo da camada asfáltica com o *software* ELSYM5. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 20.

Verifica-se nessa tabela, que as deformações de tração na faixa

Figura 69 – Vida à fadiga - Modelo de Urubici



Fonte: Autoria própria

Tabela 20 – Resultados de deformação de tração para as três alternativas propostas - ELSYM5

Estrutura	Descrição	ε_t (x10 ⁶)	
		Itapoá-Garuva	Garuva-Itapoá
1	Revestimento com 10 cm	123	121
2	Revestimento com 12 cm	106	102
3	Revestimento com 15 cm	86	83

Fonte: Autoria própria

Garuva-Itapoá foram maiores do que na faixa Itapoá-Garuva. O maior valor de deformação de tração ocorreu para a estrutura com revestimento de 10 cm, e a medida que se aumenta a espessura do revestimento, as deformações de tração vão diminuindo.

Os resultados encontrados a partir ELSYM5 foram aplicadas nos modelos de fadiga de Araranguá e Urubici. Assim, conforme apresenta a Tabela 21, foi possível estimar a vida útil em termos de número de

solicitações equivalentes ao eixo padrão de 8,2 tf.

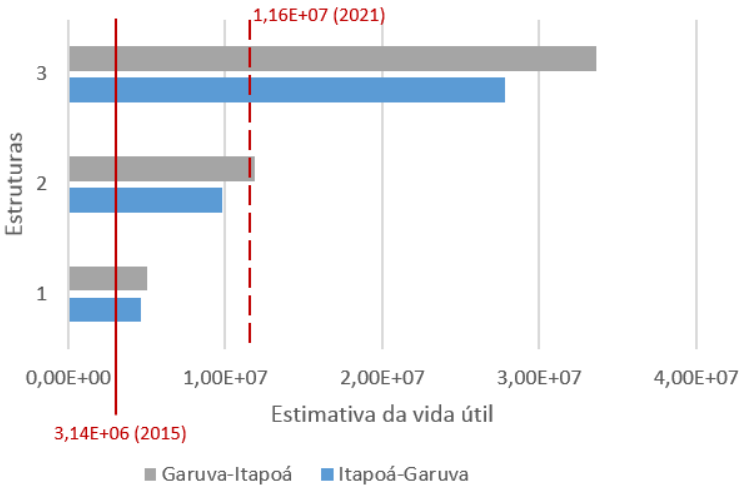
Tabela 21 – Resultados de vida à fadiga para três alternativas propostas

Estrutura	Descrição	Modelo de Araranguá		Modelo de Urubici	
		Itapoá-Garuva	Garuva-Itapoá	Itapoá-Garuva	Garuva-Itapoá
1	Revestimento com 10 cm	4,65E+06	5,05E+06	1,94E+06	2,14E+06
2	Revestimento com 12 cm	9,79E+06	1,19E+07	4,72E+06	5,94E+06
3	Revestimento com 15 cm	2,78E+07	3,37E+07	1,65E+07	2,04E+07

Fonte: Autoria própria

A fim de comparar a vida útil, obtida a partir dos modelos de Araranguá e Urubici, com o $N_{8,2\text{ tf}}$ de 2015, obtido pelo estudo de tráfego, foram elaborados os gráficos apresentados nas Figuras 70 e 71.

Figura 70 – Comparativo dos resultados de vida à fadiga - Modelo de Araranguá

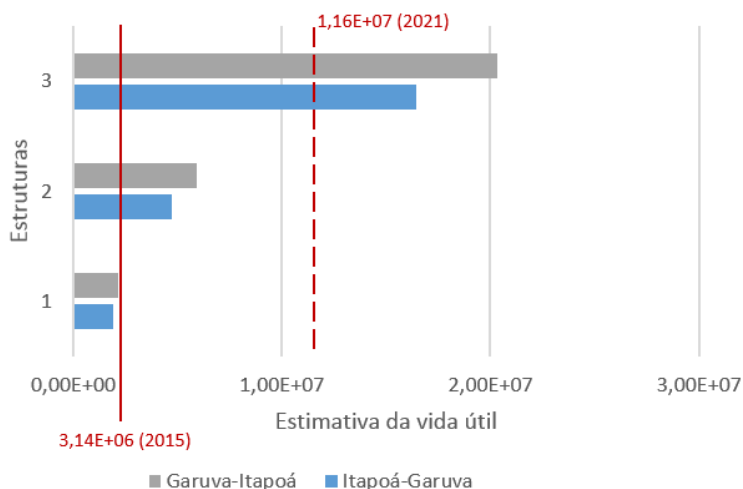


Fonte: Autoria própria

A Figura 70, exhibe graficamente a estimativa de vida útil de cada faixa de tráfego para as 3 alternativas propostas, calculadas a partir do modelo de fadiga de Araranguá. Observa-se no gráfico, que todas as estrutura conduziram a um resultado de vida útil superior ao $N_{8,2\text{ tf}}$ obtido pelo estudos de tráfego para o ano de 2015 ($N_{8,2\text{ tf}} = 3,14 \times 10^6$).

Verifica-se também, que a vida útil foi aumentando à medida que se aumentava a espessura do revestimento. Do gráfico, ainda destaca-se o fato da faixa Garuva-Itapoá apresentar uma vida útil superior à faixa Itapoá-Garuva.

Figura 71 – Comparativo dos resultados de vida à fadiga - Modelo de Urubici



Fonte: Autoria própria

Análise análoga a anterior foi realizada com os resultados expostos no gráfico da Figura 71, obtidos pelo modelo de Urubici. Portanto, foi verificado que o aumento da espessura do revestimento acarreta no aumento da estimativa de vida útil. Observa-se ainda, que apenas a estrutura 1 apresentou uma vida útil, em termos de número de solicitações equivalentes ao eixo de 8,2 tf, inferior ao estimado pelo estudo de tráfego para 2015. Com o modelo de fadiga de Urubici, também foi observado uma maior estimativa de vida útil na faixa Garuva-Itapoá, sendo que, a vida útil aumenta à medida que se aumenta a espessura da camada de revestimento.

Da análise dos gráficos 70 e 71 verifica-se que, tanto pelo modelo de Araranguá quanto pelo modelo de Urubici, seria necessária um estrutura com revestimento entre 12 e 15 cm para atender o N de projeto. Sendo assim, para determinar esse valor foram utilizados os resultados da estimativa de vida útil da faixa Itapoá-Garuva, pois esta apresentou as menores estimativas de vida útil. Por interpolação desses resultados,

verificou-se pelo modelo de fadiga de Araranguá que uma espessura de revestimento de 12,5 cm deveria ser adotada, e pelo modelo de fadiga de Urubici seria necessária uma espessura de 14 cm de revestimento para atender ao tráfego durante o período de projeto.

Para garantir que essas estruturas atenderiam ao N de projeto, a deformação de tração na base do revestimento foi calculada pelo ELSYM5, apresentando os resultados expostos nas Tabelas 22 e 23.

Tabela 22 – Estimativa de vida útil pelo modelo de Araranguá

Estrutura	Itapoá-Garuva	Garuva-Itapoá
Revestimento com 12,5 cm	1,19E+07	1,38E+07

Fonte: Autoria própria

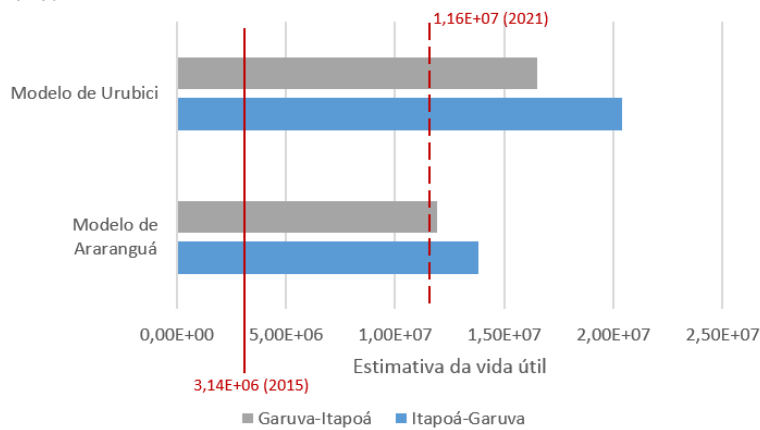
Tabela 23 – Estimativa de vida útil pelo modelo de Urubici

Estrutura	Itapoá-Garuva	Garuva-Itapoá
Revestimento com 14 cm	1,65E+07	2,04E+07

Fonte: Autoria própria

Considerando os resultados exibidos nas Tabelas 22 e 23, e observando o gráfico da Figura 72, conclui-se que as espessuras de 12,5 cm, pelo modelo de Araranguá, e 14 cm, pelo modelo de fadiga de Urubici, atenderiam ao tráfego atuante até o fim do período de projeto.

Figura 72 – Estimativa de vida útil com as novas espessuras de revestimento



Fonte: Autoria própria

6 CONCLUSÃO

De acordo com os objetivos propostos inicialmente, o presente trabalho permitiu avaliar a médio prazo o desempenho do segmento monitorado de Itapoá quanto às suas características funcionais e estruturais.

Da análise funcional do pavimento conclui-se que:

- A irregularidade longitudinal apresentou resultado satisfatório. Os maiores valores de IRI foram verificados na faixa Garuva-Itapoá, porém, nas duas faixas alguns valores de IRI encontravam-se acima do limite para intervenção imposto pela ARTESP ($IRI \leq 2,69$ m/km) para rodovias concessionadas de São Paulo.
- Com relação a evolução das patologias foi constatado que em 2012 a área afetada por defeitos de superfície era maior na faixa Itapoá-Garuva. Essa situação pode ser explicada devido a construção de um acesso, sem a instalação de drenos, próximo a estaca 1175. O sistema de drenagem é o principal meio para o escoamento da água a fim de evitar o acúmulo dela no interior da estrutura do pavimento. Com a construção de um acesso sem a colocação de drenos, a água que infiltra pela superfície do pavimento não consegue escoar, ou seja, fica impedida de sair da estrutura do pavimento. Com a passagem dos veículos a água busca caminhos para sair e acaba provocando o aparecimento de trincas na superfície do pavimento. Para agravar a situação, um empresa de terraplenagem se instalou no local e utiliza esse acesso para fazer a retirada de material de uma jazida de solo.

Em 2015, a área ocupada por patologias era maior na faixa Garuva-Itapoá do que na faixa no sentido contrário. Isso indica que o tráfego de caminhões carregados em direção ao Porto de Itapoá provocam mais aparecimento de defeitos de superfície do que a falta de drenos no acesso.

- Da análise da porcentagem de área trincada, considerando somente a superfície das trilhas de rodagem, constatou-se que o trincamento na faixa Garuva-Itapoá está próximo do limite apresentado pelo Manual de Restauração de Pavimentos (trincamento $\leq 20\%$ da área) (BRASIL, 2006b).
- Apesar do Índice de Gravidade Global ter apresentado maior valor na faixa Garuva-Itapoá, as duas faixas de rolamento apre-

sentaram resultados satisfatórios para esse indicador. Destaca-se ainda, que os valores calculados não ultrapassaram o limite de intervenção estabelecido pela ARTESP ($IGG \leq 30$).

- Quanto à microtextura, a aderência pneu-pavimento se mostrou satisfatória nos pontos analisados, classificando-se como microtextura do tipo rugosa nas duas faixas de rolamento. Ressalta-se ainda, que os valores atuais encontram-se acima do limite sugerido por Brasil (2006b) ($VRD \geq 55$).
- Quanto à macrotextura, tanto na faixa Garuva-Itapoá quanto na faixa Itapoá-Garuva, a superfície foi classificada com textura superficial média. Os atuais resultados apresentam-se insatisfatórios, pois ficaram abaixo do intervalo de valores sugeridos por Brasil (2006b) ($0,6 \text{ mm} < HS < 1,2 \text{ mm}$).
- Através do cálculo do IFI, índice que relaciona a micro e macrotextura, observou-se que a faixa Itapoá-Garuva apresenta melhores condições do que a faixa Garuva-Itapoá. Comparando os valores de IFI obtidos para cada faixa de tráfego com o limite estabelecido pela ARTESP ($IFI \geq 0,22$), foi verificado que a maior parte dos resultados se mostrou insatisfatória.
- Os afundamentos de trilha de roda apresentaram um aumento considerável de 2012 a 2015. No ano de 2012 eram observadas flechas de trilha de rodas de até 4 cm. Em 2015, elas atingem até 10 cm nas duas faixas de rolamento. A faixa Garuva-Itapoá, que sofre maior influência do tráfego gerado pelo porto, é a que apresenta os maiores afundamentos de trilha de roda.

Para as rodovias paulistas concessionadas a ARTESP estabelece um limite de 7 mm para os afundamentos de trilha de roda. Desta forma, ao comparar os resultados obtidos com esse limite, verifica-se que já existem pontos nas duas faixas de rolamento com flechas de trilha de roda superiores a 7 mm.

A partir da análise estrutural do pavimento é possível concluir que:

- As deflexão D0 apresentaram, em geral, uma redução do seu valor entre os levantamentos realizados entre 2011 e 2014, situação que se explica devido a consolidação do pavimento provocada pelo tráfego. Ao comparar os valores de deflexão do último levantamento com a deflexão admissível ($D_{adm} = 66$), foi constatado

que a maior parte dos pontos analisados apresentaram resultados satisfatórios.

- Com os modelos de fadiga desenvolvidos para os segmentos monitorados de Araranguá e Urubici estimou-se a vida útil do segmento monitorado de Itapoá, em termos de solicitações do eixo padrão de 8,2 tf. Comparando esses resultados com as solicitações de tráfego prevista para o início de 2015, obtidas pelo estudo de tráfego, verifica-se que as duas faixas da rodovia não atendem o tráfego atuante no trecho, ou seja, $N_{\text{resistente}} < N_{\text{atuante}}$.
- Ao analisar a estimativa de vida útil juntamente com a porcentagem de área trincada verifica-se que o revestimento já estaria atingindo a sua vida útil.
- Por meio da análise de outras três estruturas alternativas, com espessura de revestimento de 10, 12 e 15 cm, foi observado pelo modelo de fadiga de Araranguá que seria necessária uma espessura de 12,5 cm para o trecho resistir ao tráfego até o fim do período de projeto. Pelo modelo de fadiga de Urubici a espessura de revestimento necessária seria de 14 cm.

6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como recomendações para o desenvolvimento de outras pesquisas, sugere-se:

- a. Obter a curva de fadiga da mistura empregada em Itapoá para melhor estimar o desempenho do segmento monitorado;
- b. Extrair corpos de prova para avaliar o módulo resiliente do revestimento e, desta forma, melhorar a retroanálise das bacias de deflexão;
- c. Realizar uma nova contagem de tráfego para determinar o tráfego atuante.

REFERÊNCIAS

AMARANTE JÚNIOR, F. G. d. et al. Fresagem fina como medida de melhoramento da segurança da rodovia Presidente Dutra no trecho da Serra das Araras. 2005. 36ª Reunião Anual de Pavimentação.

ANAC. Resolução nº 236, de 5 de junho de 2012. 2012.

APS, M. **Classificação da aderência pneu-pavimento pelo índice combinado IFI-Internacional Friction Index para revestimentos asfálticos**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2006.

ARTESP. Anexo 06 serviços correspondentes as funções de conservação. p. 42–44, 2014. Disponível em: <http://www.artesp.sp.gov.br/Media/Default/Rodovias/pppTamoios/06%20-%20Servi%C3%A7os%20Correspondentes%20as%20Fun%C3%A7%C3%B5es%20de%20Conserva%C3%A7%C3%A3o%20_Final_.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2015.

BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BARTHOLOMEU, D. B. **Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2006.

BERNUCCI, L. L. B. et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 3. ed. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA, 2008.

BORGES, C. B. S. **Estudo comparativo entre medidas de deflexão com viga Benkelman e FWD em pavimentos da malha rodoviária estadual de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina, 2001.

BRASIL. DNIT-PRO 005/2003: **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos**: Norma rodoviária. Rio de Janeiro, 2003.

BRASIL. DNIT-PRO 006/2003: **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos**: Norma rodoviária. Rio de Janeiro, 2003.

BRASIL. DNIT-PRO 009/2003: Avaliação subjetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos: Norma rodoviária. Rio de Janeiro, 2003.

BRASIL. Manual de Pavimentação. Rio de Janeiro, 2006.

BRASIL. Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos. Rio de Janeiro, 2006.

CNT. Pesquisa cnt de rodovias 2014. Brasília: CNT: SEST: SENAT, 2014.

DAROUS, J. Estudo comparativo entre sistemas de cálculo de tensões e deformações utilizados em dimensionamento de pavimentos asfálticos novos. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2003.

FERNANDES, I. S.; TRICHÊS, G. Contribuição à caracterização do comportamento mecânico da camada de brita graduada “in situ”. Florianópolis, 2000.

FONSECA, L. F. d. S. d. Análise das soluções de pavimentação do programa CREMA 2ª. Etapa do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2013.

FONTES, L. P. T. L. Otimização do desempenho de misturas betuminosas com betume modificado com borracha para reabilitação de pavimentos. Tese (Doutorado) — Universidade do Minho / Universidade Federal de Santa Catarina, 2009.

FREITAS, M. R. A. Avaliação numérica do comportamento de reforços de pavimento à reflexão de fendas. Dissertação (Mestrado) — Instituto Politécnico de Bragança, 2012.

GOMES, L. H. C. et al. Estudo da equivalência operacional entre equipamentos deflectométricos-estudo de caso em rodovia localizada em Ouro Branco-MG. Santos, SP, 2013.

KAKUDA, F. M. Desenvolvimento e a utilização de um equipamento de grandes dimensões na análise do comportamento mecânico de uma seção de pavimento sob carregamento cíclico. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2010.

MATTOS, J. R. G. **Avaliação da aderência pneu-pavimento e tendências de desempenho para a rodovia BR-290/RS.**

Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

MATTOS, J. R. G. **Monitoramento e análise do desempenho de pavimentos flexíveis da ampliação da rodovia BR-290/RS: a implantação do Projeto Rede Temática de Asfalto no Rio Grande do Sul.** Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

NÓBREGA, E. S. **Comparação entre métodos de retroanálise em pavimentos asfálticos.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2003.

PEREIRA, J. M. B. **Um procedimento de retroanálise para pavimentos flexíveis baseado na teoria do ponto inerte e em modelagem matemática.** Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Carlos, 2007.

RODRIGUES FILHO, O. S. **Características de aderência de revestimentos asfálticos aeroportuários. Estudo de caso do aeroporto internacional de São Paulo/Congonhas.** Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, 2006.

SANTOS, M. J. L. d. **Dimensionamento de camadas de reforço de pavimentos rodoviários flexíveis.** Dissertação (Mestrado) — Universidade de Aveiro, 2009.

SILVA, M. C. D. **AValiação Funcional e Estrutural das Vias Asfaltadas do Campus da UFV.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Viçosa, 2006.

SILVA, P. D. E. A. **Estudo do reforço de concreto de cimento portland (Whitetopping) na pista circular experimental do Instituto de Pesquisas Rodoviárias.** Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.

TRICHÊS, G. **Desenvolvimento de método para dimensionamento de pavimentos asfálticos. Fase I: Techos experimentais e materiais de pavimentação.** 2014.

WIKIPÉDIA. **Itapoá** — **Wikipédia, a enciclopédia livre.** 2015. [Online; accessed 21-janeiro-2015]. Disponível em:

<<https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Itapoc%C3%A1&oldid=41314490>>.

ANEXO A – Irregularidade Longitudinal

Tabela 24 – Irregularidade longitudinal faixa Itapoá-Garuva - 2014

Estaca	IRI (m/km)			Médio
	1	2	3	
1190	1,45	2,62	3,16	2,41
1189	3,31	3,83	4,16	3,76
1188	1,4	1,21	1,18	1,26
1187	1,17	1,12	1,4	1,23
1186	1,36	1,46	2,07	1,63
1185	2,37	2,5	2,87	2,58
1184	1,45	1,41	1,13	1,33
1183	2,14	2,36	2,3	2,27
1182	2,15	1,48	2,6	2,08
1181	1,21	1,65	2,3	1,72
1180	3,06	3,53	3,4	3,33
1179	0,92	1,43	1,82	1,39
1178	1,24	0,85	1,48	1,19
1177	1,29	1,25	1,06	1,2
1176	1,91	1,56	2,12	1,86
1175	1,93	1,82	3,09	2,28
1174	1,47	1,9	1,64	1,67
1173	1,06	1,33	1,04	1,14
1172	1,45	1,22	1,32	1,33
1171	1,9	2,13	1,73	1,92
1170	1,78	2,18	2,01	1,99

Tabela 25 – Irregularidade longitudinal faixa Garuva-Itapoá - 2014

Estaca	IRI (m/km)			Médio
	1	2	3	
1170	3,38	2,72	3,96	3,35
1171	3,46	3,3	3,47	3,41
1172	2,02	2,05	1,88	1,98
1173	1,31	1,64	1,8	1,58
1174	2,99	2,27	2,26	2,51
1175	2,06	1,56	2,61	2,08
1176	1,2	1,49	1,85	1,52
1177	2,27	3,08	4,03	3,13
1178	3,16	2,61	2,08	2,61
1179	2,7	1,35	1,61	1,88
1180	1,91	1,52	2,15	1,86
1181	1,6	1,34	1,36	1,44
1182	2,05	1,9	2,32	2,09
1183	6,54	3,1	3,22	4,29
1184	1,09	1,26	2,29	1,55
1185	2,13	1,97	2,22	2,11
1186	3,98	3,83	4,11	3,97
1187	2,65	1,81	1,41	1,96
1188	1,53	1,38	1,99	1,64
1189	2,5	2,38	1,81	2,23
1190	2,14	2,29	2,57	2,33

ANEXO B – Levantamento de Patologias

Tabela 26 – Levantamento de patologias faixa Itapoá-Garuva - 2012

Estaca	Segregação	FC1			FC2	FC3	BU	AFP	TT	TL	D	Rem	TR (mm)	Observação
		Isolada	ITC	TLC										
1171													2	
1171+06*				x										Trinca de 0,6 metros
1171+19*					x								2	Área de 0,3x0,5 metros
1172													2	
1172+01*					x								2	Área de 0,2x0,3 metros
1173													2	
1174													1	
1174+01*					x								1	Área de 0,7x2,4 metros
1175													1	
1176													0	
1177													0	
1177+09*					x									Área de 0,4x0,5 metros
1177+13*					x									Área de 0,4x0,5 metros
1178+14*					x									Área de 0,2x0,2 metros
1178													1	
1179													1	
1180													0	
1181													1	
1182													2	
1183													1	
1184													0	
1185													1	
1186													0	

*Estaca mais distância em metros

Tabela 27 – Levantamento de patologias faixa Garuva-Itapoá - 2012

Estaca	Segregação	FC1			FC2	FC3	BU	APP	TT	TL	D	Rem	TR (mm)	Observação
		Isolada	TTC	TLC										
1171+00													0	
1172+00													0	
1173+00													1	
1174+00													2	
1175+00													1	
1176+00													0	
1177+00													0	
1178+00													1	
1179+00													0	
1180+00													0	
1181+00													1	
1181+08*					x									Área de 0,6x0,7 metros
1181+15*					x									Área de 0,8x2,3 metros
1182+00													0	
1183+00													1	
1184+00													1	
1185+00													1	
1186+00													2	
1187+00													1	

*Estaca mais distância em metros

Tabela 28 – Levantamento de patologias faixa Itapoá-Garuva - 2015

Estaca	Segregação	FC-1			FC-2	FC-3	BU	AFP	TT	TL	D	Rem	TR (mm)	Observação
		Isolada	TTC	TLC										
1170													2	
1170+4,2*				x										Área de 0,5x2,0 metros
1170+10,2*			x											Área de 0,3x0,6 metros
1170+18,0*					x									Área de 1,0x1,0 metros
1171						x							3	
1171+15,0*						x								Área de 1,5x7,8 metros
1172													3	Área de 0,4x0,6 metros
1173													4	
1173+2,0*					x	x								Área de 3,8x1,6 metros
1174													1	
1174+8,9*														Área de 0,6x0,5 metros
1174+11,1*			x			x								Área de 1,4x9,7 metros
1174+14,6*					x	x								Área de 0,5x2,5 metros
1175													1	
1175+2,9*				x										Área de 0,3x0,5 metros
1175+3,9*				x										Área de 0,6x2,1 metros
1175+8,2*				x										Área de 0,4x1,2 metros
1176													1	
1177													3	
1177+4,4*				x										Área de 0,6x2,4 metros
1177+4,5*				x										Área de 1,5x3,0 metros
1177+7,8*			x											Área de 0,4x2,1 metros
1177+8,8*			x											Área de 0,5x2,7 metros

(continua)

Tabela 30 – Levantamento de patologias faixa Garuva-Itapoá - 2015

Estrada	Segregação	FC-1			FC-2	FC-3	BU	AFP	TT	TL	D	Rem	TR (mm)	Observação
		Isolada	TTC	TLC										
1170													9	Área de 1,3x9,6 metros
1170			x											Área de 0,8x4,2 metros
1170					x									Área de 0,9x2,1 metros
1170+5,0*			x											Área de 0,9x2,3 metros
1170+10,0*				x										Área de 0,9x4,6 metros
1170+15,0*				x										Área de 0,4x1,6 metros
1170+17,0*			x										7	Área de 0,8x5,9 metros
1171														Área de 1,0x3,3 metros
1171				x										Área de 0,5x1,6 metros
1171+3,80*			x		x									Área de 0,9x9,1 metros
1171+6,0*				x									3	Área de 0,5x3,1 metros
1172														Área de 0,4x2,4 metros
1172+4,7*				x										Área de 0,3x2,3 metros
1172+9,4*			x								x			Área de 0,9x2,4 metros
1172+12,7*														Área de 0,9x4,0 metros
1172+15,4*			x											Área de 0,7x3,1 metros
1172+16,0*				x									4	
1173													3	
1174														Área de 0,8x4,0 metros
1174			x											Área de 1,4x2,5 metros
1174+2,0*				x										

(continua)

Tabela 31 – Levantamento de patologias faixa Garuva-Itapoá - 2015 (continuação)

1174+4,7*			x														Área de 0,7x1,5 metros
1174+19,0*			x														Área de 0,5x1,7 metros
1175																5	
1175+11,0*				x													Área de 0,6x9,0 metros
1176																3	
1176			x														Área de 0,6x0,6 metros
1176+13,4*				x													Área de 0,9x1,5 metros
1176+15,4*			x														Área de 0,6x0,5 metros
1176+16,0*													x				Área de 1,2x2,5 metros
1176+16,7*			x														Área de 0,6x1,0 metros
1177																2	
1177			x														Área de 0,7x0,9 metros
1177							x										Área de 0,7x1,0 metros
1177+2,7*			x														Área de 0,5x1,0 metros
1177+6,0*			x														Área de 0,5x1,5 metros
1177+6,7*		x															Área de 0,2x0,5 metros
1177+7,5*		x															Área de 0,25x0,25 metros
1177+13,4*				x													Área de 0,2x1,3 metros
1178																4	
1178+16,0*			x														Área de 0,4x2,3 metros
1179																2	
1179																	Área de 1,5x1,4 metros
1179+1,0*			x														Área de 0,5x1,5 metros
1179+3,4*				x													Área de 1,1x4,7 metros
1179+5,4*			x														Área de 0,4x0,5 metros

(continua)

Tabela 34 – Levantamento de patologias faixa Garuva-Itapoá - 2015 (continuação)

1184																		Área de 0,3x0,5 metros
1184																		Área de 0,3x0,6 metros
1184+-4,0*																		Área de 0,4x1,2 metros
1184+-5,4*																		Área de 0,2x0,4 metros
1184+-18,0*																		Área de 0,5x0,8 metros
1185																	3	

*Estaca mais distância em metros

ANEXO C – Índice de Gravidade Global

Figura 73 – Planilha de cálculo do IGG da faixa Itapoá-Garuva - 2012

Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de Gravidade Individual
1	(FC I) F, TTC, TTL, TLC, TLL, TER	0	0,00	0,2	0,00
2	(FC II) J, TB	2	12,50	0,5	6,25
3	(FC III) JE, TBE	0	0,00	0,8	0,00
4	ALP, ATP	0	0,00	0,9	0,00
5	O, P, E	0	0,00	1,0	0,00
6	Ex	0	0,00	0,5	0,00
7	D	0	0,00	0,3	0,00
8	R	0	0,00	0,6	0,00
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TER		0,94		1,25
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas		0,60		0,60
Nº total de estações inventariadas		16	Σ IGI = IGG		8,10
Conceito					ÓTIMO

Figura 74 – Planilha de cálculo do IGG da faixa Garuva-Itapoá - 2012

Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de Gravidade Individual
1	(FC I) F, TTC, TTL, TLC, TLL, TER	0	0,00	0,2	0,00
2	(FC II) J, TB	0	0,00	0,5	0,00
3	(FC III) JE, TBE	0	0,00	0,8	0,00
4	ALP, ATP	0	0,00	0,9	0,00
5	O, P, E	0	0,00	1,0	0,00
6	Ex	0	0,00	0,5	0,00
7	D	0	0,00	0,3	0,00
8	R	0	0,00	0,6	0,00
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TER		0,71		0,95
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas		0,47		0,47
Nº total de estações inventariadas		17	Σ IGI = IGG		1,42
Conceito					ÓTIMO

Figura 75 – Planilha de cálculo do IGG da faixa Itapoá-Garuva - 2015

Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de Gravidade Individual
1	(FC I) F, TTC, TTL, TLC, TLL, TER	3	18,75	0,2	3,75
2	(FC II) J, TB	0	0,00	0,5	0,00
3	(FC III) JE, TBE	2	12,50	0,8	10,00
4	ALP, ATP	0	0,00	0,9	0,00
5	O, P, E	0	0,00	1,0	0,00
6	Ex	0	0,00	0,5	0,00
7	D	0	0,00	0,3	0,00
8	R	0	0,00	0,6	0,00
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TER			3,38	4,50
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas			3,85	3,85
Nº total de estações inventariadas		16	Σ IGI = IGG		22,10
				Conceito	BOM

Figura 76 – Planilha de cálculo do IGG da faixa Garuva-Itapoá - 2015

Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência relativa	Fator de ponderação	Índice de Gravidade Individual
1	(FC I) F, TTC, TTL, TLC, TLL, TER	5	31,25	0,2	6,25
2	(FC II) J, TB	2	12,50	0,5	6,25
3	(FC III) JE, TBE	0	0,00	0,8	0,00
4	ALP, ATP	0	0,00	0,9	0,00
5	O, P, E	0	0,00	1,0	0,00
6	Ex	0	0,00	0,5	0,00
7	D	0	0,00	0,3	0,00
8	R	0	0,00	0,6	0,00
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medidas em mm nas TRI e TER			5,13	6,84
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas			6,13	6,13
Nº total de estações inventariadas		16	Σ IGI = IGG		25,47
				Conceito	BOM

ANEXO D – Aderência Pneu-Pavimento

Tabela 35 – Microtextura - 2014

Garuva-Itapoá		Itapoá-Garuva	
Estaca	GN	Estaca	GN
1170	0,65	1170	0,55
1171	0,63	1171	0,56
1172	0,67	1172	0,55
1173	0,63	1173	0,57
1174	0,64	1174	0,54
1175	0,63	1175	0,49
1176	0,63	1176	0,50
1177	0,70	1177	0,50
1178	0,69	1178	0,50
1179	0,68	1179	0,57
1180	0,67	1180	0,57
1181	0,63	1181	0,57
1182	0,64	1182	0,52
1183	0,63	1183	0,52
1184	0,66	1184	0,54
1185	0,67	1185	0,53
1186	0,63	1186	0,55
1187	0,64	1187	0,53
1188	0,63	1188	0,52
1189	0,57	1189	0,57
1190	0,56	1190	0,57

Tabela 36 – Microtextura faixa Itapoá-Garuva - 2015

Estaca	VRD	Classificação
1170	64,50	Rugosa
1173	67,25	Rugosa
1176	64,75	Rugosa
1179	63,50	Rugosa
1182	61,25	Rugosa
1185	59,00	Rugosa

Tabela 37 – Microtextura faixa Garuva-Itapoá - 2015

Estaca	VRD	Classificação
1170	61,50	Rugosa
1173	64,50	Rugosa
1176	59,75	Rugosa
1179	60,00	Rugosa
1182	58,50	Rugosa
1185	59,25	Rugosa

Tabela 38 – Macrotextura faixa Itapoá-Garuva - 2014

Estaca	HS (mm)	Classificação
1175	0,59	Média
1180	0,54	Média
1185	0,48	Média
1190	0,44	Média

Tabela 39 – Macrotextura faixa Garuva-Itapoá - 2014

Estaca	HS (mm)	Classificação
1175	0,49	Média
1180	0,53	Média
1185	0,48	Média
1190	0,44	Média

Tabela 40 – Microtextura faixa Itapoá-Garuva - 2015

Estaca	Hs(mm)	Classificação
1170	0,44	Média
1173	0,50	Média
1176	0,54	Média
1179	0,45	Média
1182	0,51	Média
1185	0,54	Média

Tabela 41 – Macrotextura faixa Garuva-Itapoá - 2015

Estaca	Hs(mm)	Classificação
1170	0,41	Média
1173	0,45	Média
1176	0,45	Média
1179	0,48	Média
1182	0,47	Média
1185	0,42	Média

Tabela 42 – IFI faixa Itapoá-Garuva - 2014

Estaca	IFI	Classificação
1170	0,27	Muito bom
1173	0,29	Muito bom
1176	0,28	Muito bom
1179	0,31	Muito bom
1182	0,32	Muito bom
1185	0,29	Muito bom

Tabela 43 – IFI faixa Garuva-Itapoá - 2014

Estaca	IFI	Classificação
1170	0,36	Ótimo
1173	0,33	Muito bom
1176	0,36	Ótimo
1179	0,38	Ótimo
1182	0,34	Muito bom
1185	0,34	Muito bom

Tabela 44 – IFI faixa Itapoá-Garuva - 2015

Estaca	IFI	Classificação
1170	0,22	Muito bom
1173	0,21	Bom
1176	0,19	Bom
1179	0,24	Muito bom
1182	0,23	Muito bom
1185	0,19	Bom

Tabela 45 – IFI faixa Garuva-Itapoá - 2015

Estaca	IFI	Classificação
1170	0,17	Bom
1173	0,19	Bom
1176	0,18	Bom
1179	0,20	Bom
1182	0,19	Bom
1185	0,17	Bom

ANEXO E – Afundamento de Trilha de Roda

Tabela 46 – Afundamento de trilha de roda externa - 2012

Itapoá-Garuva		Garuva-Itapoá	
Estaca	TRE (mm)	Estaca	TRE (mm)
1171	2	1171	0
1172	2	1172	0
1173	2	1173	1
1174	1	1174	2
1175	1	1175	1
1176	0	1176	0
1177	0	1177	0
1178	1	1178	1
1179	1	1179	0
1180	0	1180	0
1181	1	1181	1
1182	2	1182	0
1183	1	1183	1
1184	0	1184	1
1185	1	1185	1
1186	0	1186	2
		1187	1

Tabela 47 – Afundamento de trilha de roda interna e externa - 2014

Itapoá-Garuva		
Estaca	TRI (mm)	TRE (mm)
1170	0,5	1,9
1171	0,6	1,7
1172	0,4	0,7
1173	0,2	0,6
1174	0,4	1,0
1175	0,6	1,3
1176	0,0	2,8
1177	1,7	1,7
1178	0,4	1,5
1179	1,0	1,7
1180	2,8	0,4
1181	0,8	1,2
1182	0,9	2,0
1183	0,4	1,4
1184	0,2	2,0
1185	0,1	4,2
1186	5,8	2,1
1187	0,4	1,2
1188	0,2	3,7
1189	0,3	1,3
1190	0,6	1,3

Garuva-Itapoá		
Estaca	TRI (mm)	TRE (mm)
1170	2,6	3,3
1171	0,0	0,5
1172	0,0	0,2
1173	0,0	0,6
1174	0,1	0,1
1175	0,0	1,2
1176	0,0	0,6
1177	0,5	1,6
1178	0,6	1,9
1179	0,9	0,8
1180	1,1	1,0
1181	3,0	1,9
1182	2,8	2,0
1183	6,0	4,3
1184	1,2	1,1
1185	2,1	0,6
1186	0,8	5,9
1187	1,3	1,4
1188	0,5	2,0
1189	0,5	7,1
1190	2,2	1,1

Tabela 48 – Afundamento de trilha de roda externa - 2015

Itapoá-Garuva		Garuva-Itapoá	
Estaca	TRE (mm)	Estaca	TRE (mm)
1170	2	1170	9
1171	3	1171	7
1172	3	1172	3
1173	4	1173	4
1174	1	1174	3
1175	1	1175	5
1176	1	1176	3
1177	3	1177	2
1178	3	1178	4
1179	3	1179	2
1180	3	1180	4
1181	5	1181	6
1182	7	1182	7
1183	8	1183	9
1184	3	1184	8
1185	4	1185	3

ANEXO F – Levantamento Deflectométrico

Tabela 49 – Levantamento deflectométrico com Viga Benkelman - 2011

Estaca	Deflexões (0,01 mm)	
	Garuva-Itapoá	Itapoá-Garuva
1170	48	53
1171	50	50
1172	52	58
1173	66	60
1174	66	68
1175	67	62
1176	66	66
1177	52	51
1178	50	62
1179	66	60
1180	53	67
1181	69	57
1182	65	59
1183	67	65
1184	55	67
1185	66	66
1186	49	65
1187	55	60
1188	67	66
1189	66	60
1190	55	67

Tabela 50 – Levantamento deflectométrico faixa Itapoá-Garuva - 2014

Estaca	Carga (kgf)	Deflexões (0,01 mm)										Temperatura	
		D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	Ar	Pav.	
1170	4001	37,9	25,4	18,2	12,3	9,7	6,5	4,6	3,7	2,9	29	53	
1171	4011	37,0	25,9	19,6	13,6	11,0	7,5	5,2	4,1	3,2	30	52	
1172	4007	39,0	28,4	22,4	16,6	13,2	8,9	6,0	4,9	3,8	30	52	
1173	4006	38,8	28,4	22,0	15,6	12,4	8,7	6,0	5,0	4,0	29	53	
1174	3965	51,2	40,0	32,7	24,5	19,8	13,3	8,5	6,4	5,0	29	54	
1175	3951	60,6	46,7	38,1	27,1	20,7	12,2	7,4	5,7	4,7	29	54	
1176	3983	50,7	38,8	31,1	22,1	16,7	10,2	6,4	4,9	3,8	30	54	
1177	3989	46,2	34,2	26,1	17,9	13,7	8,6	5,7	4,6	3,9	30	53	
1178	3984	50,6	38,4	30,3	22,0	17,4	10,9	7,0	5,5	4,6	30	54	
1179	3985	53,1	39,6	30,6	21,1	16,2	10,2	6,9	5,6	4,6	30	54	
1180	4021	41,2	28,3	21,1	14,9	12,0	8,4	5,9	4,9	4,2	29	54	
1181	3977	55,2	42,1	32,9	24,3	19,3	12,3	7,9	6,5	5,1	30	53	
1182	3972	58,1	44,4	36,8	27,6	21,8	14,0	8,9	6,3	5,0	30	53	
1183	3954	53,5	40,6	33,9	26,1	21,0	13,1	7,7	6,0	4,8	30	53	
1184	3962	53,2	40,6	31,8	21,7	16,9	11,5	7,5	5,8	4,6	29	53	
1185	3981	52,5	38,8	30,2	21,3	16,2	10,1	5,9	4,4	3,4	29	53	
1186	4012	33,1	22,8	16,8	11,7	9,3	6,9	5,0	4,3	3,5	30	52	
1187	4003	35,6	24,5	18,8	12,9	10,2	7,4	5,3	4,2	3,4	30	52	
1188	4016	35,1	23,9	17,2	12,0	9,4	6,7	5,1	4,6	3,6	31	53	
1189	4050	38,7	27,2	20,5	14,3	11,5	7,9	5,6	4,7	4,1	31	53	
1190	4030	46,1	37,1	30,8	23,8	18,3	10,8	6,3	5,1	4,3	31	53	

Tabela 51 – Levantamento deflectométrico faixa Garuva-Itapoá - 2014

Estaca	Carga (kgf)	Deflexões (0,01 mm)										Temperatura	
		D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	Ar	Pav.	
1170	4001	37,9	25,4	18,2	12,3	9,7	6,5	4,6	3,7	2,9	29	29	53
1171	4011	37,0	25,9	19,6	13,6	11,0	7,5	5,2	4,1	3,2	30	30	52
1172	4007	39,0	28,4	22,4	16,6	13,2	8,9	6,0	4,9	3,8	30	30	52
1173	4006	38,8	28,4	22,0	15,6	12,4	8,7	6,0	5,0	4,0	29	29	53
1174	3965	51,2	40,0	32,7	24,5	19,8	13,3	8,5	6,4	5,0	29	29	54
1175	3951	60,6	46,7	38,1	27,1	20,7	12,2	7,4	5,7	4,7	29	29	54
1176	3983	50,7	38,8	31,1	22,1	16,7	10,2	6,4	4,9	3,8	30	30	54
1177	3989	46,2	34,2	26,1	17,9	13,7	8,6	5,7	4,6	3,9	30	30	53
1178	3984	50,6	38,4	30,3	22,0	17,4	10,9	7,0	5,5	4,6	30	30	54
1179	3985	53,1	39,6	30,6	21,1	16,2	10,2	6,9	5,6	4,6	30	30	54
1180	4021	41,2	28,3	21,1	14,9	12,0	8,4	5,9	4,9	4,2	29	29	54
1181	3977	55,2	42,1	32,9	24,3	19,3	12,3	7,9	6,5	5,1	30	30	53
1182	3972	58,1	44,4	36,8	27,6	21,8	14,0	8,9	6,3	5,0	30	30	53
1183	3954	53,5	40,6	33,9	26,1	21,0	13,1	7,7	6,0	4,8	30	30	53
1184	3962	53,2	40,6	31,8	21,7	16,9	11,5	7,5	5,8	4,6	29	29	53
1185	3981	52,5	38,8	30,2	21,3	16,2	10,1	5,9	4,4	3,4	29	29	53
1186	4012	33,1	22,8	16,8	11,7	9,3	6,9	5,0	4,3	3,5	30	30	52
1187	4003	35,6	24,5	18,8	12,9	10,2	7,4	5,3	4,2	3,4	30	30	52
1188	4016	35,1	23,9	17,2	12,0	9,4	6,7	5,1	4,6	3,6	31	31	53
1189	4050	38,7	27,2	20,5	14,3	11,5	7,9	5,6	4,7	4,1	31	31	53
1190	4030	46,1	37,1	30,8	23,8	18,3	10,8	6,3	5,1	4,3	31	31	53

ANEXO G – Estudo de Tráfego

Tabela 52 – Evolução do tráfego ao longo dos anos

Fator de veículo (Fvi)	0,000	0,790	1,149	4,767	12,078	0,000
Ano	TMDA					
	Automóveis	Ônibus	Caminhões		Reboque e Semi-reboque	Outros
2012	1105	12	Simplex	Duplo	387	37
2013	1187	13	30	10	416	40
2014	1275	14	33	10	442	43
2015	1369	15	35	11	468	46
2016	1472	17	38	12	495	50
2017	1581	18	41	13	525	53
2018	1697	19	44	14	556	57
2019	1823	20	47	15	591	61
2020	1958	22	50	16	626	66
2021	2104	24	54	17	663	71

ANEXO H – Retroanálise

Tabela 53 – Resultados da retroanálise faixa Garuva-Itapoá

Estaca	Módulo de Resiliência (MPa) - Camada				RMS
	Revestimento	Base	Sub-base	Subleito	
1170	7531,15	231,04	219,83	185,33	2,8934
1171	11878,07	346,99	216,43	139,19	2,8443
1172	10750,47	563,1	269,6	150,72	2,0566
1173	6549,79	513,88	134,84	127,83	3,2394
1174	7516,14	579,9	111,85	117,51	3,4406
1175	7068,44	396,32	103,99	119,43	2,3238
1176	10112,14	416,47	103,92	146,27	2,6762
1177	10034,56	331,19	165,27	148,78	2,2289
1178	7938,85	534,26	86,75	90,76	5,0363
1179	8957,28	468,25	94,57	127,06	3,1871
1180	10135,06	626,2	118,73	147,65	1,7457
1181	4696,03	650,78	81,94	114,24	2,4954
1182	13083,63	206,66	93,94	100,95	4,1498
1183	21172,72	82,00	161,75	93,25	6,9215
1184	8996,42	295,97	101,24	98,52	4,2984
1185	7922,33	291,26	165,06	137,86	1,9428
1186	7508,76	387,57	179,55	184,59	2,4763
1187	14515,69	267,06	227,97	237,39	1,5913
1188	4963,56	515,91	197,22	142,22	3,5531
1189	18546,22	67,19	348,42	135,47	4,3420
1190	7971,46	583,24	214,75	154,6	0,8921

Tabela 54 – Resultados da retroanálise faixa Itapoá-Garuva

Estaca	Módulo de Resiliência (Mpa) - Camada				RMS
	Revestimento	Base	Sub-base	Subleito	
1170	7236,05	330,58	234,05	185,40	1,8157
1171	7982,19	436,94	213,40	163,53	2,2228
1172	10834,10	462,34	179,03	137,68	3,1438
1173	10839,44	401,27	191,41	141,48	2,1987
1174	11141,88	486,15	100,50	99,00	4,2633
1175	7627,79	476,38	64,50	122,70	3,0000
1176	10588,71	442,42	90,51	138,08	2,0721
1177	7349,32	455,19	119,98	155,98	3,1316
1178	6913,23	541,26	98,63	124,62	3,3052
1179	7696,04	366,35	105,50	128,88	2,9551
1180	6139,51	385,37	209,41	144,49	2,1199
1181	6287,90	493,77	93,19	108,93	4,3219
1182	2860,31	797,30	76,47	100,76	2,9450
1183	20010,06	173,57	121,46	90,85	11,7736
1184	12703,13	211,58	122,37	110,96	4,4519
1185	9253,50	346,93	102,47	136,08	4,2107
1186	9109,22	376,12	294,31	172,65	1,5570
1187	9007,50	379,14	249,71	162,34	1,8596
1188	9535,23	290,81	298,24	171,58	1,1239
1189	8400,68	389,29	213,08	154,39	1,9809
1190	7247,94	1134,44	62,01	165,27	1,5743